



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ciencia e Ingeniería e Ingeniería
Química

PROYECTO FIN DE CARRERA

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO EN LA INDUSTRIA CERÁMICA, SECTOR LADRILLO, EN ESPAÑA

Autor: D. David del Águila García

Tutor: D. Juan Ignacio López Ruíz

Leganés, junio de 2013

Título: Reducción de emisiones de gases efecto invernadero en la industria cerámica,
sector ladrillo, en España.

Autor: D. David del Águila

Director: D. Juan Ignacio López Ruíz

EL TRIBUNAL

Presidente: Antonio Aznar

Vocal: Carlos Rodríguez

Secretario: Fernando Soto

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 21 de Junio de 2013 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Agradezco a Juan Ignacio López Ruíz por la dirección y dedicación en este trabajo.

Por otra parte, también quería dar las gracias a Javier Bricio, responsable control de emisiones Grupo Díaz Redondo S.A.; Francisco Repull, presidente de AEBIG; y Carmen Marchán, Responsable del Departamento de Recursos Geológicos de IGME por su gran implicación con el proyecto.

Resumen

El cambio climático es uno de los más importantes desafíos a los que debe hacer frente el sector energético, llamado a jugar un papel fundamental en este campo, debido a que las tecnologías de producción que utilizan combustibles fósiles tienen un importante peso específico en las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el siguiente documento se abordará esta problemática concretamente a través de la industria cerámica. Se estudiará cómo reducir emisiones de gases efecto invernadero a partir de la necesidad medioambiental, económica y social que se ha creado como consecuencia del aumento de la producción de la industria cerámica, especialmente en el sector ladrillero durante el período de 1997 a 2008 en España.

El proceso de fabricación de cerámicas requiere un enorme consumo de energía térmica, que, mayoritariamente, se genera a través de la combustión de gas natural. Este proceso de combustión tiene, lógicamente, como resultado la emisión a la atmósfera de dióxido de carbono, gas de efecto invernadero. Por tanto, es un proceso que contribuye al calentamiento global.

A partir de este hecho, se proponen una serie de medidas para reducir las emisiones de gases efecto invernadero, en especial, el dióxido de carbono, ya que es el que más emisiones provoca en el sector.

Palabras clave: Industria cerámica, gases efecto invernadero, emisiones CO₂, sector ladrillo, biogás, wollastonita.

Abstract

Climate change is one of the most important challenges energy sector have to confront as one of the leading role players on industry. Present production technologies uses mainly fossil fuel, being clean energy almost incidental, reason why their relevant weight on greenhouse gases has a substantial effect on climate change.

On the document ahead it would be treated the particular scenario that ceramic industry presents on behalf of greenhouse gases effect on environment. Emissions reduction of these gases is a result of social, economic and environmental demands created by the production increase of ceramic industry, especially construction brick sector in Spain between the period 1997 to 2008.

The fabrication process of ceramic requires huge amount of thermal energy consumption, mainly through natural gas combustion. This process has, as a logical turn out, the release to the atmosphere of carbon dioxide, main responsible agent of the greenhouse effect and therefore global warming.

Taking this fact as a start point, it is proposed a battery of proposals to reduce greenhouse gas emissions, especially, carbon dioxide, industrial sector greatest responsible.

Keywords: Ceramic industry, greenhouse gases, carbon dioxide emissions, brick sector, biogas, wollastonite.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
Introducción	1
Objetivos	1
Fases del desarrollo	2
Estructura de la memoria	2
2. NORMATIVA DE EMISIONES SOBRE GASES EFECTO INVERNADERO	4
2.1. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).....	4
2.1.1. <i>Origen</i>	4
2.1.2. <i>Conferencia de las Partes (COP)</i>	5
2.1.3. <i>Órganos subsidiarios</i>	5
2.1.4. <i>Objetivo</i>	6
2.2. Protocolo de Kioto	7
2.2.1 <i>Origen</i>	7
2.2.2. <i>Conferencia de las Partes</i>	7
2.2.3. <i>Órganos Subsidiarios</i>	7
2.2.4. <i>Régimen de cumplimiento del Protocolo de Kioto</i>	7
2.2.5. <i>Objetivos</i>	8
2.2.6. <i>Medidas</i>	10
2.2.6.1. Los Mecanismos de Flexibilidad.	10
- El Comercio Europeo de Derechos de Emisión	11
Origen	12
Funcionamiento	12
Ámbito de aplicación	14
Los derechos de emisión	15
Autorización de emisión de gases de efecto invernadero.....	16
Solicitud de asignación de derechos de emisión	17
Registro de derechos de emisión	18

Asignación de derechos de emisión	19
Precios de los derechos de emisión.....	19
Seguimiento y verificación de las emisiones	20
Entrega de derechos.....	22
Sanciones y multas	22
Calendario anual de cumplimiento.....	23
- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)	23
Objetivo	24
Requisitos de los países a participar.....	24
- Mecanismo de Aplicación Conjunta. (AC)	25
Objetivo	25
Requisitos de los países a participar.....	25
2.2.6.2. Sumideros Biológicos o de Carbono	26
Objetivo	26
Problemática Causada por los sumideros	27
2.3. Normativa en España	28
2.3.1. Derechos de emisión.....	28
2.3.2. El Plan Nacional de Asignación.....	28
2.3.2.1. Período 2005-2007	29
2.3.2.2. Período 2008-2012	33
2.3.2.3. Período 2013-2020	36
2.3.3. Evolución de las emisiones de GEI	38
3. LA INDUSTRIA CERÁMICA, EL SECTOR LADRILLO EN ESPAÑA	41
3.1 Situación actual	41
3.2. Normativa de emisiones de GEI que afecta al sector.....	43
3.3 Emisiones de GEI en el sector	44
3.4 ¿Cómo se calculan las emisiones de GEI en el sector?.....	47
4. EL LADRILLO	56
4.1. Geometría y tipos de ladrillos	56
4.2 Proceso de fabricación	58
<i>Etapa 1: Extracción de materias primas.....</i>	<i>58</i>
<i>Etapa 2: Homogenización y envejecimiento</i>	<i>61</i>
<i>Etapa 3: Desmenuzado.....</i>	<i>64</i>
<i>Etapa 4: Molienda.....</i>	<i>65</i>
<i>Etapa 5: Amasado</i>	<i>69</i>
<i>Etapa 6: Moldeo.....</i>	<i>70</i>
<i>Etapa 7: Cortado.....</i>	<i>71</i>
<i>Etapa 8: Secado.....</i>	<i>72</i>
<i>Etapa 9: Cocción.....</i>	<i>73</i>
<i>Etapa 10: Preparación y almacenamiento del producto.....</i>	<i>76</i>
<i>Procesos auxiliares:</i>	<i>76</i>

4.3 Emisiones de GEI en el proceso de fabricación.....	78
- <i>Emisiones de CO₂ por combustión</i>	78
- <i>Emisiones de CO₂ de proceso</i>	79
- <i>Otras emisiones</i>	82
4.4 Soluciones para reducción de las emisiones de GEI.....	84
4.4.1. <i>Sustitución parcial de gas natural por biogás</i>	85
¿Por qué el biogás contribuye a reducir las emisiones de CO ₂ ?.....	86
¿Cuántas emisiones de CO ₂ se reduce sustituyendo gas natural por biogás?	87
¿Cuándo es rentable utilizar biogás para la mezcla?	90
¿Cuándo pasara a ser rentable, con el precio de venta del CO ₂ actual en el mercado de derechos de emisión?	92
¿Y si el PVCO ₂ llega hasta los valores máximos que alcanzo en 2005?, ¿cuándo será rentable?.....	93
4.4.2. <i>Añadir wollastonita</i>	94
¿Cuánto CO ₂ se dejaría de emitir si añadimos CaSiO ₃ ?	94
¿Cuál es el precio máximo de CaSiO ₃ , para que sea rentable la sustitución por el CaCO ₃ ?	95
4.4.3. <i>Otras medidas</i>	96
5. CONCLUSIONES	97
6. TRABAJOS FUTUROS.....	99
7. BIBLIOGRAFÍA.....	101
8. ANEXOS	105

Índice de figuras

Figura 1: Esquema de funcionamiento sistema “Cap and Trade”.

Figura 2: Esquema general de funcionamiento del mercado de derechos de emisión.

Figura 3: Esquema de seguimiento y verificación de los derechos de emisión.

Figura 4 [22]: evolución del índice de emisiones brutas de GEI en España.

Figura 5 [24]: Evolución de la producción en el sector cerámico estructural Español 1992-2011.

Figura 6: Forma y nomenclatura de un ladrillo.

Figura 7 [32]: Ubicación de la Oliva, fábrica de ladrillos, Pantoja, Toledo.

Figura 9 [34]: Cantera de arcilla en Pantoja, Toledo.

Figura 10 [35]: Lecho de homogenización.

Figura 11 [36]: Pudridero, de cerámicas el paraíso.

Figura 12 [40]: Molino de rulos.

Figura13 [41]: Laminador.

Figura 14 [42]: Amasadora.

Figura 15[43]: Extrusora de hélice.

Figura 16 [44]: Carro cortador.

Figura 17 [45]: Esquema de un secadero de ladrillos.

Figura 18[46] Diagrama de temperaturas del proceso de cocción en ladrillos.

Figura 19 [47]: Esquema de un horno túnel.

Índice de tablas

Tabla 1: Reparto de las emisiones Kioto período 2008-2012.

Tabla 2 [10]: Evolución del precio del derecho de emisión en la Unión Europea.

Tabla 3: Principales diferencias entre Spot vs Forward.

Tabla 4 [17]: Asignación de derechos de emisión, emisiones reales verificadas y tasa de cobertura de la UE-25 para el PNA I

Tabla 5 [18]: Asignaciones y verificaciones entre los sectores afectados por los derechos de emisión para el periodo 2005-2007.

Tabla 6 [19]: Asignación anual media del PNA I y PNA II.

Tabla 7[20]: Promedio anual de derechos asignados en España, por los sectores afectados por los PNA I y PNA II.

Tabla 8[21]: Histórico de las emisiones totales de GEI en España.

Tabla 9 [23]: Comparativa Empresas, producción y empleados 1992-2011. Fuente Hispalyt: Asociación española de fabricantes de ladrillos y tejas de arcilla cocida.

Tabla 10 [26]: Evolución de derechos asignados frente a las emisiones verificadas reales.2005-2012.

Tabla 11 [27]: Asignación de derechos de emisión, en el sector ladrillos y tejas en España, par a el período 2013-2020.

Tabla 12: Asignación de derechos para el período 2013-2020.

Tabla 13 [28]: Emisiones de combustión en secadero y horno, de la instalación 1.

Tabla 14 [29]: Emisiones de combustión por cogeneración, de la instalación 1.

Tabla 15 [30]: Emisiones de proceso, de la instalación 1

Tabla 16 [49]: Emisiones de CO₂, Hermanos Díaz Redondo, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista. (HDR, S.A. LADRILLO CARA VISTA).

Tabla 17 [50]: Emisiones de CO₂, Industrias Cerámicas Díaz, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista. (ICD, S.A. LADRILLO CARA VISTA).

Tabla 18 [51]: Emisiones de CO₂, Hermanos Díaz Redondo, S.A, instalación de fabricación de teja cerámica. (HDR, S.A. TEJA).

Tabla 19 [53]: Valores medios de emisiones de contaminantes, medidos en España en el sector ladrillo y teja, año 2011.

Tabla 20 [55]: Equivalencias energéticas de 1m³ de biogás.

Tabla 21 [56]: Emisiones CO₂ en secadero y horno, en la instalación 1.

Tabla 22 [57]: comparativa de emisiones combustión secadero y horno, de las tres instalaciones sustituyendo el combustible de gas natural por, la nueva mezcla.

Tabla 23 [58]: comparativa de emisiones combustión, motor cogeneración, de las tres instalaciones sustituyendo el combustible de gas natural por, la nueva mezcla.

Introducción y objetivos

Introducción

Este trabajo aborda el tema de cómo reducir las emisiones de gases efecto invernadero, en la industria cerámica, dentro del sector ladrillo y dentro de la situación geográfica española.

El tema tratado ha sido elegido debido a la importancia que ha generado actualmente dentro de nuestra situación ambiental (efecto invernadero), económica (crisis económica global) dentro del panorama español.

Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es la búsqueda de medidas de reducción de emisiones de gases efecto invernadero, que se pueden llevar a cabo en la industria cerámica española, particularmente en el sector ladrillos y tejas. Para ello, haremos una introducción teórica apoyada en dos conceptos básicos:

1. Las normativas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que afectan al sector.
2. El proceso de fabricación cerámico, y el del ladrillo en particular.

Fases del desarrollo

Para poder llevar a cabo este proyecto se ha realizado un estudio previo de la industria cerámica del sector ladrillos y tejas en España, sus procesos y emisiones.

Ha sido necesario visitar varias empresas líderes en el sector como Grupo la Paloma¹, Grupo Díaz Redondo, S.A.² y para estudiar sus instalaciones y procesos de fabricación. Además de contactar telefónicamente y vía e-mail con otros organismos importantes como la Asociación Española de Biogás³ (AEBIG), con el Instituto Geológico y Minero de España⁴ (IGME) y proveedores de equipos para la industria cerámica estructural Berlamar Tecnologic S.A.⁵

Por otra parte, se ha estudiado normativa⁶ relacionada con las emisiones de efecto invernadero en Europa y España, informes de inventarios nacionales de emisiones de gases efecto invernadero y bibliografía sobre contaminación en el sector industrial, para la propuesta de mejoras en la reducción de dichas emisiones en las instalaciones fabriles del sector.

Estructura de la memoria

A continuación se detallara el contenido de cada capítulo:

El capítulo 1 tratará la introducción, los objetivos, las fases de desarrollo, y el esquema de la memoria de este proyecto final de carrera.

El Capítulo 2 explicará como ha evolucionado la normativa de emisiones de gases efecto invernadero en Europa y España, desde su comienzo hasta la actualidad.

El Capítulo 3 se comentará la situación actual de la industria cerámica en concreto el sector ladrillos y tejas en España, desde tres puntos de vista: evolución de la producción del sector, normativa de emisiones de gases efecto invernadero que afecta al sector, evolución de las emisiones de gases efecto invernadero desde la década de los noventa hasta la actualidad, por último el método que se utiliza para calcular las emisiones de gases efecto invernadero en el sector.

¹ www.ceramica-lapaloma.es

² www.grupodiazredondo.com

³ www.aebig.org

⁴ www.igme.es

⁵ www.berlamar.com

⁶ Directiva 2003/87/CE, Directiva 2009/29/CE, Ley 1/2005, Ley 16/2002, Ley 13/2010.

Finalmente, en el último capítulo se estudia el proceso de fabricación de ladrillos, los flujos de emisiones de gases efecto invernadero que se produce en dicho proceso, y se plantean las soluciones, que se han llevado a cabo en este proyecto final de carrera, para reducir las emisiones de gases efecto invernadero en el proceso de fabricación.

Normativa de emisiones sobre Gases Efecto Invernadero

Con el objetivo de mejorar la calidad ambiental, el bienestar y la seguridad de los ciudadanos, desde la década de los setenta, la Unión Europea ha elaborado diversos programas específicos de política y actuación en materia de medio ambiente, para hacer frente a los gases de efecto invernadero (a partir de ahora GEI) que provocan el calentamiento global del planeta.

2.1. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

2.1.1. Origen

La Asamblea General de las Naciones Unidas, preocupada por el aumento sustancial de las concentraciones de GEI en la atmósfera, resultado de las actividades humanas, y su efecto sobre el calentamiento de la superficie y la atmósfera de la Tierra aprueba la Resolución 45/212 [1], por la que se inician las negociaciones de una Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (a partir de ahora CMNUCC).

La CMNUCC fue adoptada en la Sede de las Naciones Unidas, Nueva York el 9 de mayo de 1992. De acuerdo con el artículo 20 de la CMNUCC, que estaba abierto a la firma en Río de Janeiro, 4-14 junio de 1992, y posteriormente en la Sede de las Naciones Unidas, Nueva York, del 20 Junio 1992 a 19 Junio 1993. Para esa fecha, la CMNUCC había recibido 166 firmas. La Comunidad Europea ratificó la CMNUCC

mediante la Decisión 94/69/CE [2], y posteriormente entró en vigor el 21 de marzo de 1994.

En la actualidad, hay 195 Partes (países que han ratificado, aceptado o aprobado el tratado o se han adherido a él desde que entró en vigor), las Partes se han reunido anualmente en las Conferencias de las Partes (COP por las siglas en inglés Conference of the Parties).

2.1.2. Conferencia de las Partes (COP)

La COP es el órgano supremo de la CMNUCC, es decir, su nivel más alto de decisión. Es una asociación de todos los países que son Partes en la CMNUCC, se reúne cada año, a menos que las Partes decidan otro período de reunión. Se reúne en Bonn, la sede de la secretaría, a menos que una de las Partes se ofrezca para acoger la reunión en otra sede. Sus objetivos son tres:

- Mantener los esfuerzos internacionales para abordar el cambio climático en la actualidad. Se examina la aplicación de la CMNUCC y los compromisos de las Partes a la luz del objetivo de la CMNUCC, los nuevos descubrimientos científicos y la experiencia adquirida en la aplicación de políticas de cambio climático.

- Examinar las comunicaciones nacionales y los inventarios de emisiones de GEI presentadas por las Partes. Con base a esta información, la COP evalúa los efectos de las medidas adoptadas por las Partes y los progresos realizados en la consecución del objetivo último de la CMNUCC.

- Impulsar, supervisar la aplicación y continuar las conversaciones sobre la forma más indicada de abordar el cambio climático.

Desde que entró en vigor la CMNUCC hasta la actualidad, la COP se ha reunido dieciocho veces.

2.1.3. Órganos subsidiarios

La CMNUCC estableció dos órganos subsidiarios permanentes para asesoramiento a la COP y cada uno tiene un mandato específico. Están abiertos a la participación de cualquiera de las Partes. Los gobiernos suelen enviar a sus representantes que son expertos en los campos de los órganos respectivos, Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (a partir de ahora OSACT), y Órgano Subsidiario de Ejecución (a partir de ahora OSE).

Las tareas a desempeñar por el OSACT son:

- Proporcionar asesoramiento sobre cuestiones científicas, tecnológicas y metodológicas como: desarrollo y la transferencia de tecnologías ambientalmente amigables, y la realización de trabajos técnicos para mejorar las directrices para la preparación de comunicaciones nacionales e inventarios de emisiones.
- Realizar un trabajo metodológico en áreas específicas, tales como el sector uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (en inglés Land use, land-use change and forestry LULUCF), y la adaptación y la vulnerabilidad.
- Juega un papel importante como vínculo entre la información científica proporcionada por fuentes especializadas, como el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés *Intergovernmental Panel on Climate Change*), por un lado, y las necesidades de orientación normativa de la COP en el otro.

Las tareas a desempeñar por el OSE son:

- Examinar la información de las comunicaciones nacionales e inventarios de emisiones de GEI presentadas por las Partes con el fin de evaluar la eficacia general de la CMNUCC.
- Examinar las ayudas financieras a las Partes para ayudarles a cumplir sus compromisos de la CMNUCC, y proporcionar asesoramiento financiero y administrativos a la COP.

El OSACT y el OSE trabajan juntos en los temas transversales que tocan sus áreas de especialización, reuniéndose dos veces al año, una en la COP correspondiente, y otra en la sede de la secretaria de la CMNUCC.

2.1.4. Objetivo

El principal objetivo es la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

La CMNUCC establece un marco general para los esfuerzos intergubernamentales para abordar el desafío que plantea el cambio climático. Reconoce que el sistema climático es un recurso compartido cuya estabilidad puede verse afectada por las emisiones industriales y GEI.

2.2. Protocolo de Kioto

2.2.1 Origen

El Protocolo de Kioto fue adoptado en la COP3 en Kioto, Japón, el 11 de diciembre de 1997. Fue aprobado por la Comunidad Europea mediante la Decisión 2002/358/CE[3].

Entró en vigor el 16 de febrero de 2005 de conformidad con el artículo 25, que es el nonagésimo día después de la fecha en la que por lo menos 55 Partes de la CMNUCC, depositaron sus instrumentos de ratificación, aceptación, aprobación o adhesión en las que se cuenten Partes (Véase anexo I) cuyas emisiones totales representen por lo menos el 55% del total de las emisiones de CO₂ de las del año 1990, que se toma como año base. Su primer período de compromiso se inició en 2008 y terminó en 2012. En Doha, Qatar, el 8 de diciembre de 2012, la Enmienda de Doha para el Protocolo de Kioto, fue adoptada, aprobándose así el segundo período de compromiso del 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020.

En la actualidad, hay 192 países que participan en el Protocolo de Kioto.

2.2.2. Conferencia de las Partes

La COP actúa como Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto (a partir de ahora CMP). Esto se conoce como la Conferencia de las Partes en Calidad de Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto (CMP).

El CMP se reúne anualmente durante el mismo período que el COP. Partes en el CMNUCC que no sean Partes en el Protocolo de Kioto pueden participar en el CMP en calidad de observadores, sin derecho a tomar decisiones. Las funciones de la CMP relacionadas con el Protocolo de Kioto son similares a las llevadas a cabo por la COP.

2.2.3. Órganos Subsidiarios

El OSACT y el OSE actúan en el Protocolo de Kioto como Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico y Órgano Subsidiario de Ejecución.

2.2.4. Régimen de cumplimiento del Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto, aborda la necesidad de aprobar los procedimientos y mecanismos relativos al cumplimiento por las Partes de sus obligaciones en virtud del Protocolo.

Estos procedimientos y mecanismos de cumplimiento fueron aprobados en la COM1 celebrada tras la entrada en vigor del mismo, en Montreal en diciembre de 2005.

Se crea un Comité encargado de velar por el cumplimiento de las Partes de las obligaciones asumidas en virtud del Protocolo. Dicho Comité de Cumplimiento, con veinte miembros elegidos por las Partes, se organiza en un Pleno, una Mesa, y dos grupos diferenciados: Grupo de Facilitación y el Grupo de Control del Cumplimiento.

El Grupo de Facilitación se encarga de proporcionar apoyo, asistencia y asesoramiento a las Partes con el fin de promover el cumplimiento, con carácter previo a cualquier incumplimiento.

El Grupo de Control del Cumplimiento se encarga de determinar si se ha producido o no un incumplimiento, y en caso de que determine que así ha sido, puede establecer medidas correctivas para las Partes.

2.2.5. Objetivos

El Protocolo representa un importante paso hacia adelante en la lucha contra el calentamiento global del planeta, ya que contiene objetivos obligatorios y cuantificados de limitación y reducción de gases de efecto invernadero en los países industrializados y/o en transición a economías de mercado (Véase anexo I).

Durante el primer período comprendido entre el 1 de enero de 2008 hasta 31 de diciembre de 2012, estos países deben reducir sus emisiones totales de 6 GEI (véase anexo II), un 5,2% respecto a los niveles de emisiones de 1990, que se toma como año base (véase anexo III), si bien para los gases fluorados (HFC, PFC y SF6) se permite utilizar, alternativamente, 1995 como año base.

La Unión Europea procedió a establecer unas cifras de limitación del crecimiento o de reducción de las emisiones de GEI diferenciadas para cada uno de los Estados Miembros en el denominado acuerdo de reparto de la carga, que se conoce como burbuja comunitaria, para reducir las emisiones de GEI un 8% respecto a los niveles de 1990. Este acuerdo es vinculante para los Estados miembros de la UE en virtud de la Decisión 2002/358/CE. Como resultado directo de dicha distribución de cargas, basada, fundamentalmente en el nivel y las previsiones de desarrollo alcanzado por cada uno de los países, se observan grandes diferencias entre los compromisos de unos y otros que se muestran en la siguiente tabla.

País	Emisiones 1990 (Mt CO ₂ eq)	Objetivo Kioto %
Alemania	1.247,90	-21
Austria	78,2	-13
Bélgica	143,3	-8
Dinamarca	68	-21
España	283,2	15
Finlandia	70,4	0
Francia	562,9	0
Grecia	104,4	25
Irlanda	54,8	13
Italia	519,2	-6,5
Luxemburgo	12,8	-28
Países Bajos	211,9	-6
Portugal	59,4	27
Reino Unido	776,1	-12,5
Suecia	72,5	4

Tabla 1[4]: Reparto de las emisiones Kioto período 2008-2012

Durante el segundo período de compromiso, que transcurrirá desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020 los países industrializados (Unión Europea UE-27, Australia, Suiza, Lichtenstein, Mónaco, Islandia, Noruega, Croacia, Kazajstán, Ucrania y Bielorrusia, pero el problema es que los países que firmaron apenas generan el 15% de GEI, mientras que Estados Unidos, el mayor productor de contaminantes del mundo, nunca lo ratificó, a la vez que Rusia, Canadá, Nueva Zelanda y Japón se retiraron de él), se han comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 21% por debajo de los niveles de 1990. Esta medida fue adoptada en lo que se conoce como Puerta Climática de Doha, el 8 de diciembre de

2012, celebrada en Doha, Qatar, las Partes aprobaron, de conformidad con los artículos 20 y 21 del Protocolo, una enmienda al Protocolo de Kioto.

Sin embargo, la composición de los países industrializados en el segundo período de compromiso es diferente de la primera. (Véase anexo IV).

2.2.6. Medidas

El Protocolo de Kioto no sólo establece compromisos, sino que ofrece la posibilidad de utilizar los denominados Mecanismos de Flexibilidad, y Sumideros Biológicos, herramientas que pone a disposición de los países que han adquirido compromisos cuantificados de reducción o limitación del crecimiento de sus emisiones de GEI para ayudar al cumplimiento de los mismos, incurriendo en el menor coste posible y contribuyendo también a otros objetivos generales como es avanzar hacia el desarrollo sostenible en los países más pobres.

2.2.6.1. Los Mecanismos de Flexibilidad.

Consiste en un conjunto de tres instrumentos de mercado⁷ concebidos para que las reducciones de emisiones de GEI se produzcan allí donde los costes de mitigación son menores, y facilitar a los países desarrollados y con economías en transición de mercado la consecución de sus objetivos de reducción y limitación de emisiones de GEI.

Estos mecanismos son instrumentos de carácter complementario a las medidas y políticas internas que constituyen la base fundamental del cumplimiento de los compromisos del Protocolo de Kioto.

Tienen un doble objetivo:

1. Por un lado, con carácter general, buscan facilitar a los países desarrollados y países con economías en transición de mercado el cumplimiento de sus compromisos de reducción y limitación de emisiones de GEI.
2. Por otro lado, también persiguen apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo, países no incluidos en el anexo III, a través de la transferencia de tecnologías limpias.

A través de la creación de estos mecanismos se genera un mercado global de carbono⁸ para los países que han ratificado el Protocolo de Kioto. Las medidas de mercado otorgan mayor flexibilidad tanto a los países como a las empresas, permitiéndoles

⁷ Instrumento de mercado, se refiere a que el EUETS sigue las leyes del mercado, y entre ellas la ley de la oferta y la demanda

⁸ El Mercado Global de Carbono es un sistema de comercio a través del cual los gobiernos, empresas o individuos pueden vender o adquirir reducciones de gases efecto invernadero.

ampliar el abanico de opciones disponibles para alcanzar objetivos ambientales, pudiendo acudir a los mercados de carbono en sus distintas formas con la finalidad de abaratar los costes que supondría tener que acometer con medidas tecnológicas o de gestión de sus obligaciones ambientales.

Los tres Mecanismos de Flexibilidad son los siguientes; el Comercio Europeo de Derechos de Emisión (CEDE, en inglés European Union Emissions Trading Scheme, EUETS) el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el Mecanismo de Aplicación Conjunta (AC). Los dos últimos, son los denominados Mecanismos basados en proyectos, debido a que las unidades de reducción de las emisiones resultan de la inversión en proyectos, adicionales ambientalmente, encaminados a reducir las emisiones antropogénicas⁹ por las fuentes, o a incrementar la absorción antropogénica¹⁰ por los sumideros de los GEI.

- El Comercio Europeo de Derechos de Emisión

El Comercio Europeo de Derechos de Emisión (EUETS European Union Emissions Trading Scheme), es un instrumento al servicio del desarrollo sostenible que lo podemos observar desde dos puntos de vista.

1) Desde un punto de vista ambiental, persigue asegurar un nivel de emisiones GEI predeterminado, mediante la asignación, a las instalaciones cubiertas por el régimen, de una cuota total de derechos de emisión¹¹, reflejo del límite máximo de emisiones autorizadas¹² por el sistema competente.

2) Desde el punto de vista económico, permite a un país (véase anexo III) del Protocolo que haya conseguido reducir sus emisiones más allá de los compromisos adquiridos, podrá vender a otro país del anexo III, que no llegue a su objetivo previsto de reducción de emisiones, las unidades de reducción de emisiones (UCAs unidad de cantidad atribuida, en ingles AAUs, EUAs Unidad de asignación europea.) que necesite para cumplir su cuota.

Por tanto, este instrumento actúa como un mecanismo de mercado que posibilita a las instalaciones emisoras de GEI comerciar con los derechos de emisión, previamente asignados a cada una de ellas y que la reducción de emisiones de GEI se realice donde el coste sea inferior.

⁹ Emisiones antropogénicas, son los GEI derivados de la quema de combustibles fósiles y de la actividad humana.

¹⁰ Absorción antropogénica, son los GEI, que absorben los sumideros de carbono, provenientes de las emisiones antropogénicas.

¹¹ Un derecho de emisión, es una licencia para emitir una tonelada de CO_{2eq}. Este derecho puede transferirse a otro participante en el mercado de derechos de emisión.

¹² Permiso otorgado a una instalación afectada por el régimen de comercio de derechos de emisión determinada, que la autoriza a emitir gases a la atmósfera, no se puede comprar ni vender.

Origen

El Comercio Europeo de derechos de emisión se aprueba el 13 de octubre de 2003 según la Directiva 2003/87/CE[5], por la que se modifica la Directiva 96/61/CE [6]. Conforme a lo establecido en la Directiva 2003/87/CE, el 1 de enero de 2005 comenzó a funcionar el Comercio Europeo de Derechos de Emisión y se dividió en dos períodos 2005-2007, y 2008-2012. En abril de 2008, la Directiva 2009/29/CE [7] modificó la Directiva 2003/87/CE, para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de GEI, para el período vigente entre 2013-2020.

Funcionamiento

Basado en el sistema “cap-and-trade”, es un mecanismo de mercado intraeuropeo para incentivar una reducción de emisiones de CO_{2eq} dadas, al mínimo coste posible. El funcionamiento del esquema se basa en dos conceptos clave: 1. La fijación de un tope de emisiones “Cap”, y 2. La transferencia de derechos de emisión “Trade” entre agentes de mercado¹³.

1. “Cap” o tope de emisiones.

Se establece un tope máximo “cap” o techo de emisiones¹⁴ para cada Estado-miembro (Véase anexo III y anexo IV), para cada período de vigencia. Estos límites nacionales se desagregan al nivel de las instalaciones para cada Estado-miembro. Las emisiones hasta el nivel del “cap” están respaldadas por derechos de emisión. Por encima del “cap”, las emisiones dan lugar a penalizaciones.

Dado que el límite global de emisiones respaldadas por derechos de emisión, es inferior al conjunto de las emisiones reales cuando un Estado no ha cumplido aún su objetivo, el esquema genera fuertes incentivos para que los agentes reduzcan sus emisiones de CO₂, con el objetivo de evitar las penalizaciones correspondientes. De esta forma, se controla que las emisiones de cada instalación están respaldadas por los derechos de emisión correspondientes para que el total de las instalaciones no superen el “cap” o, si lo hacen, paguen la penalización establecida.

2. “Trade” o comercio de emisiones.

El esquema “cap-and-trade” permite que los derechos de emisión puedan ser intercambiados entre agentes en un mercado. El intercambio de derechos de emisión en el mercado es el mecanismo más efectivo para reducir las emisiones al mínimo coste para el conjunto de la sociedad, pues incentiva a los agentes que pueden reducir emisiones a un menor coste, a invertir en los equipos necesarios para reducir las

¹³ Cada una de las Partes que han ratificado el Protocolo y que son países desarrollados o con economía en transición para el cumplimiento de sus compromisos.

¹⁴ Es el volumen total de derechos de emisión que se ponen en circulación. El techo se sitúa por debajo de lo que correspondería a un escenario de emisiones tendenciales. Determina el objetivo medioambiental, y da valor económico al derecho de emisión al crear escasez

emisiones y vender los derechos de emisión correspondientes a agentes cuyo coste de reducción de emisiones es mayor.

A continuación se muestra un esquema de funcionamiento del sistema “Cap and Trade”

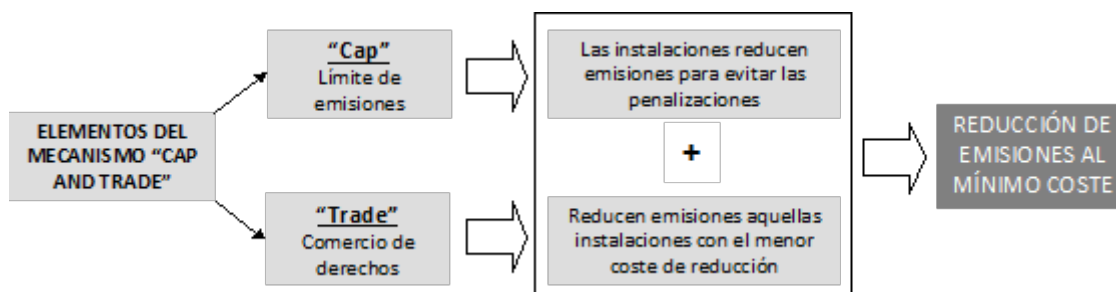


Figura 1[8]: Esquema de funcionamiento sistema “Cap and Trade

Este sistema de compra-venta de emisiones de gases de efecto invernadero se lleva a cabo en una serie de etapas, puesto que les permite a aquellos que han reducido sus emisiones más de lo comprometido, vender los derechos de emisión excedentarios a los países que no hayan alcanzado a cumplir con su compromiso.

A continuación se muestra un esquema del funcionamiento del mercado europeo de derechos de emisión.

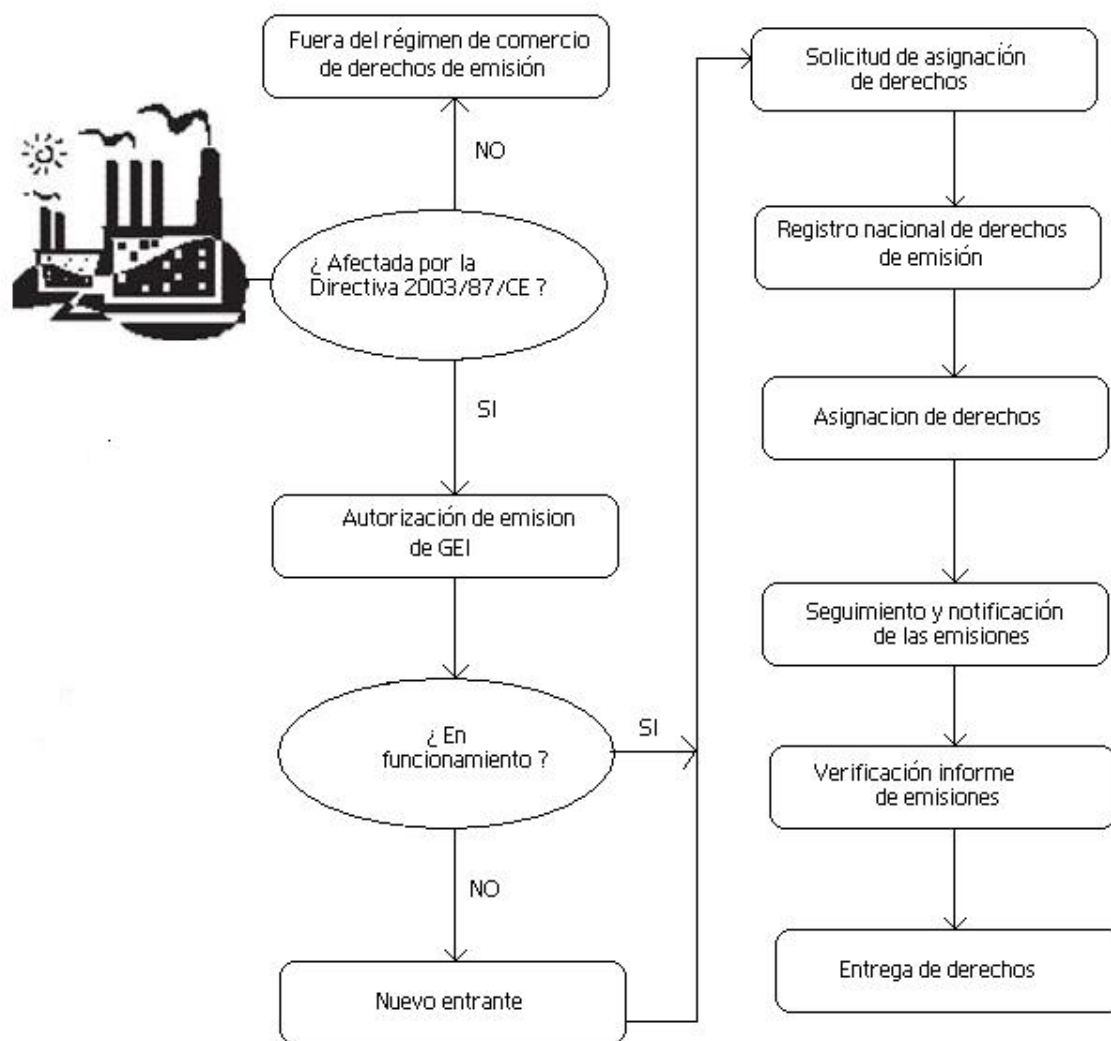


Figura 2: Esquema general de funcionamiento del mercado de derechos de emisión.

El esquema establece por una parte las estructuras necesarias para que funcione el mercado, como son el techo de emisiones, los sistemas de seguimiento, verificación y notificación de las emisiones, los registros, asignación de derechos, etc. Y por otra parte define un marco de responsabilidades y obligaciones para los operadores de las instalaciones sujetos a sanciones en caso de incumplimiento.

Ámbito de aplicación

El Comercio Europeo de Derechos de Emisión engloba a más de 12.000 instalaciones industriales, que generan colectivamente más del 45% de las emisiones europeas de GEI. De ellas, aproximadamente 1.000 son españolas.

Se da entre instalaciones que superen los derechos de emisión asignados y aquellas cuyas emisiones sean inferiores, que podrán vender los derechos de emisión sobrantes a las empresas que hayan superado la cuota inicial de derechos asignados

La lista de sectores y actividades incluidos, comprende actividades energéticas, refinerías, coquerías, producción y transformación de metales férreos, papel y pasta de papel, cemento, vidrio, ladrillos y tejas, cerámica e Industrias minerales, a partir de ciertos umbrales (Véase anexo V).

Quedan excluidas:

1. Las instalaciones o partes de instalaciones cuya dedicación principal sea la investigación, desarrollo y experimentación de nuevos productos y procesos.
2. Las instalaciones de combustión de residuos peligrosos o municipales.

Con esta medida se intenta que las empresas lleven a cabo las reducciones requeridas de la forma más eficiente desde el punto de vista de costes, y que los Estados-miembros de la UE consigan trasladar a los sectores afectados su cuota de responsabilidad en el cumplimiento de los objetivos de cada país que ratifica el Protocolo de Kioto.

Los derechos de emisión

Un derecho de emisión es el derecho a emitir una tonelada de CO₂ equivalente¹⁵ (tCO₂ eq), desde una instalación afectada. Las características más destacables son las siguientes:

1. El derecho de emisión tendrá carácter transmisible, se puede comprar o vender.
2. La titularidad originaria de la totalidad de los derechos de emisión que figuren en cada Plan Nacional de Asignación¹⁶ (a partir de ahora PNA), y la titularidad de los derechos de emisión que formen parte de la reserva para nuevos entrantes¹⁷, corresponde a la Administración General del Estado, que los asignará, enajenará o cancelará de conformidad con lo establecido en la Directiva 2003/87/CE, o Ley de cada Estado miembro que regule esta Directiva.
3. El derecho de emisión será válido únicamente para el período de vigencia de cada PNA.

¹⁵ Es la medida habitualmente empleada para indicar el potencial de calentamiento global (PCG) de un GEI, definido en relación al dióxido de carbono (CO₂). El PCG mide el efecto de calentamiento a lo largo del tiempo (el período de referencia más usado es 100 años) que produce la liberación instantánea hoy de 1kg de un GEI en comparación con el que causa 1kg de CO₂. En esta medida influyen tanto la capacidad de cada GEI de intensificar el efecto invernadero así como su tiempo de permanencia en la atmósfera. Por ejemplo, una tonelada de gas metano equivale a 21 toneladas de CO_{2eq}. Esto significa que el PCG del metano para un horizonte de 100 años es 21, mientras que el del CO₂ es 1. Ver anexo VI.

¹⁶ Todos los países participantes en Kioto están obligados a elaborar y presentar un Plan Nacional de Asignación, en el que se determinará la cantidad total de derechos de emisión a asignar durante cada período de compromiso, y el procedimiento de asignación aplicado.

¹⁷ Nuevo entrante, toda instalación que lleve a cabo una o más de las actividades indicadas en el anexo V, a la que se le conceda un permiso de emisión de gases de efecto invernadero o una renovación del permiso de emisión de gases de efecto invernadero debido a un cambio en el carácter o el funcionamiento de la instalación o a una ampliación de ésta, con posterioridad a la notificación a la comisión del plan nacional de asignación.

4. La expedición, titularidad, transferencia, transmisión, entrega y cancelación de los derechos de emisión deberá ser objeto de inscripción en el Registro nacional de derechos de emisión, de cada país.
5. Los derechos de emisión pueden tener su origen en:
 - a) Un PNA de un Estado miembro de la Unión Europea
 - b) Un país con compromiso de reducción o limitación de emisiones que sea parte del Protocolo de Kioto.
 - c) Una unidad de reducción certificada de emisión (RCE, en inglés Certified Emissions Reduction, CER), procedente de mecanismos de desarrollo limpio, o una unidad de reducción de emisiones (URE, en inglés Emissions Reduction Unit, ERN), procedente de los mecanismos de aplicación conjunta, que sea expedida de conformidad con lo establecido por la CMNUCC.
 - d) Una unidad 'Unidad De Absorción' (UDA o en inglés Removal Unit, RMU), procedente de los sumideros de carbono.

Por tanto, el operador de una instalación posee el derecho de plena propiedad sobre el derecho de emisión que supone poder usar, disfrutar y disponer libremente del mismo, pero la titularidad originaria de la totalidad de los derechos de emisión corresponde a la Administración General del Estado. De esta forma, antes de su asignación la propiedad de los derechos y, por lo tanto, las facultades derivadas de la misma corresponden al Estado. El Estado, transfiere a los operadores de las instalaciones afectadas por el comercio de derechos de emisión una parte de la cantidad que compone su compromiso del Protocolo de Kioto, de modo que los operadores gestionan esa cuota asegurándose de mantener los niveles de emisión fijados en el PNA, que se vuelve a transferir al Estado mediante la cancelación de los derechos anualmente o una vez acabe su vigencia. De este modo los Estados consiguen controlar la parte del compromiso del Protocolo de Kioto que corresponde a las emisiones de los sectores incluidos en el comercio de derechos de emisión (Véase anexo V).

Autorización de emisión de gases de efecto invernadero

Toda instalación afectada por la directiva 2003/87/CE, y que genere las emisiones especificadas en el anexo II, deberá contar con autorización de emisión de GEI expedida en favor de su titular, para poder operar desde el 1 de enero de 2005.

Los titulares de estas instalaciones deben presentar una solicitud de autorización dirigida a la autoridad competente de cada Estado miembro, en el caso de España se presentará en la Comunidad Autónoma en cuyo territorio se encuentre la instalación. Para la obtención de un permiso de emisión de gases de efecto invernadero, constará una descripción de:

a) La instalación y sus actividades, incluida la tecnología utilizada.

b) Las materias primas y auxiliares, cuyo uso pueda provocar emisiones de GEI, enumerados en el anexo II. Las fuentes de emisiones de GEI enumerados en el anexo II, existentes en la instalación.

La autorización de emisión de gases de efecto invernadero se otorgará siempre que el órgano competente considere acreditado que el titular es capaz de garantizar el seguimiento y notificación de las emisiones.

En el caso de que la solicitud no cumpla todos los requisitos necesarios, el órgano competente requerirá al solicitante para que en un plazo determinado (10 días hábiles), acompañe los documentos necesarios. Transcurrido el plazo de tres meses sin haberse notificado resolución expresa, el interesado podrá entender desestimada su solicitud por silencio administrativo.

Una vez expedida la autorización, el órgano competente debe comunicarlo al Registro Nacional de Derechos de Emisión (RENADE) en el plazo de 10 días. Igualmente procederá a la comunicación de cualquier modificación o extinción de autorización.

Solicitud de asignación de derechos de emisión

Para recibir los derechos asignados individualmente a cada instalación, los titulares de las mismas deben presentar al órgano competente de cada Estado miembro la correspondiente solicitud. Estos derechos de asignación no son transferibles y son privativos de cada instalación.

La resolución de asignación de derechos individualizada corresponde en España al Consejo de Ministros tras haber realizado un trámite de información pública, previa consulta a la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático (Comisión de Coordinación del Comercio de Derechos de Emisión entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas), y a propuesta conjunta de los Ministerios de Economía y Hacienda, Industria, Turismo y Comercio, y Medio Ambiente.

Tanto las instalaciones incluidas en los PNA como los nuevos entrantes, deben presentar una solicitud de asignación individualizada de derechos al director de la Oficina Española de Cambio Climático, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente y medio rural y marino, con los siguientes elementos:

a) Acreditación de ser titular de la instalación.

b) Acreditación de haber solicitado o disponer de autorización de emisión de gases de efecto invernadero.

c) Estimación de la evolución en la instalación de la producción, los consumos de combustible y materias primas, así como de las emisiones de GEI para el período comprendido en el plan nacional de asignación.

d) Datos técnicos de la instalación.

Cuando la solicitud no reúna los requisitos necesarios, el órgano competente requerirá al solicitante para que en el plazo de 10 días hábiles acompañe los documentos preceptivos. La resolución de asignación de derechos de emisión determina la cantidad de derechos asignada a cada instalación durante el período de vigencia del correspondiente plan nacional de asignación y su distribución anual. Transcurrido el plazo de tres meses sin haberse notificado resolución expresa se entiende que la solicitud presentada ha sido denegada.

Registro de derechos de emisión

Cada derecho de emisión es una unidad electrónica, claramente identificada, para que cualquier titular de una instalación afectada pueda utilizarlo para cumplir con sus obligaciones fijadas en el Mercado Europeo de Comercio de Derechos de Emisión. La posesión de los derechos se materializa en los registros electrónicos públicos establecidos al respecto, que aseguran la permanente actualización de la contabilidad relativa a los derechos de emisión.

El sistema de registros está formado por:

1. Los Registros Nacionales: tienen por objeto llevar cuenta exacta de la expedición, la titularidad, la transferencia, entrega y la cancelación de derechos de emisión,

2. El Registro de la Unión Europea ó Diario Independiente de Transacciones Comunitario (DITC, o CITL por sus siglas en inglés): es el Administrador Central del sistema, controlará, de manera automatizada, cada transacción en los registros mediante el registro independiente de transacciones, para comprobar que no se producen irregularidades en la expedición, la transferencia y la cancelación de derechos de emisión.

3. El Registro de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático ó Diario Independiente de Transacciones (DIT, o ITL por sus siglas en inglés): controla que todas operaciones realizadas entre registros, o dentro de un registro, se realicen conforme a la reglamentación aplicable

En la Unión Europea el sistema de registros queda regulado por los artículos 19 y 20 de la Directiva 2003/87/CE sobre comercio de derechos de emisión.

En España la Ley 1/2005[9], crea el Registro Nacional de Derechos de Emisión (RENADE), adscribiéndolo al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de la Oficina Española del Cambio Climático (OECC), y su gestión fue encomendada a Iberclear.

A mediados del ejercicio 2012 ha tenido lugar un proceso de migración desde cada Registro Nacional a un Registro Único de la Unión Europea, dentro del cual Iberclear

sigue desempeñando las funciones de Administrador Nacional del Área Española, Dicho registro es accesible a los titulares de cuenta, de manera permanente, vía Internet a través de un área privada de acceso restringido.

Asignación de derechos de emisión

De acuerdo de la Directiva 2003/87/CE, todos los Estados miembros de la UE están obligados a elaborar y presentar a la Comisión Europea un PNA, en el que se determinará la cantidad total de derechos a asignar durante cada período, y el procedimiento de asignación aplicado, para cada instalación.

A través del PNA, cada Estado-miembro asigna el conjunto de derechos de que dispone, de acuerdo con los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto, entre las industrias contaminantes sujetas al mecanismo “cap-and-trade” y entre las distintas instalaciones en cada sector, incluyendo además una reserva¹⁸ de derechos de emisión para nuevos entrantes en los diversos sectores. El reparto de derechos entre sectores e instalaciones depende de criterios fijados por cada Estado Miembro, como las emisiones históricas o las emisiones esperadas en el futuro, se reparten de forma gratuita o por subastas.

Los PNA tienen vigencia durante un período plurianual dado, el PNA I tuvo vigencia durante el período 2005-2007, el PNA II tuvo vigencia durante el período 2008-2012, actualmente para el período 2013-2020 se suprimen los los PNA por un nuevo sistema centralizado.

El apartado 2.3, se desglosaran los PNA por períodos de vigencia analizando sus características más importantes en España.

Precios de los derechos de emisión

El precio de los derechos de emisión de CO₂ depende del equilibrio entre la oferta y la demanda en el Mercado Europeo de Derechos de Emisión. El principal determinante del precio de los derechos de emisión es su escasez en el mercado, pues la oferta y la demanda de derechos de emisión dependen, en buena parte, del tope de emisiones que fijen los Estados miembros para las industrias sujetas a la Directiva. Cuanto más restrictivo sea el límite global de emisiones, menor será el número de derechos de emisión y mayor será su precio.

En el conjunto del mercado, el precio de los derechos de emisión queda determinado por el coste de reducción de emisiones de la última instalación necesaria para cumplir con el “cap” como se muestra en la siguiente figura.

A continuación se muestra una tabla, con la evolución de los precios de derechos de emisión, desde el año 2005 hasta la actualidad, en valores medios anuales, expresados en euros por tonelada de CO_{2eq}.

¹⁸ Es la cantidad de derechos de emisión que se reserva para nuevos entrantes.

Año	Precio (€/t)
2005	32,7
2006	30,5*
2007	25,3
2008	22,01
2009	13,057
2010	14,32
2011	12,88
2012	7,32
2013	4,5

*El precio más alto que se llegó a conseguir fueron 35€/ tonelada, en el año 2006.

Tabla 2 [10]: Evolución del precio del derecho de emisión en la Unión Europea.

Se puede observar, una reducción en el precio, que está asociado a la reducción de emisiones en la industria europea, debido a la llegada de una crisis sin precedentes, que afecta a todos los Estados-miembros.

Seguimiento y verificación de las emisiones

En el comercio de derechos de emisión, el seguimiento correcto y veraz de las emisiones es un factor fundamental para el correcto funcionamiento del esquema. Los operadores de las instalaciones afectadas tienen obligaciones en esta materia impuestas por el órgano competente de cada Estado miembro de la Unión Europea correspondiente en la autorización de emisión de gases de efecto invernadero.

En general, las emisiones de CO₂ pueden medirse utilizando distintas metodologías, ya sea basadas en cálculos (datos de la actividad x factor de emisión x factor de oxidación, que se verán en el capítulo 3) o midiéndolas en continuo. Todos los cálculos, medidas y monitorización de las emisiones, así como la presentación de la información están reglamentados Decisión 2007/589/CE [11], estableciendo los nuevos planes de seguimiento, verificación, y cálculo de emisiones mejorando así la anterior Decisión.

-Seguimiento

El titular de la instalación afectada es el responsable del seguimiento de sus emisiones, conforme a lo establecido en su autorización de emisión y a las directrices al efecto aprobadas por la Comisión Europea. Cada titular debe entregar anualmente el informe

de emisiones a un verificador independiente de cada estado miembro, que se encarga de comprobar que las emisiones se han determinado conforme a lo establecido.

-Verificación

Los informes de las emisiones de cada instalación se someten por tanto a un proceso de verificación independiente cada año mediante el cual se comprueba la calidad de las medidas, cálculos, factores de emisión y otros datos utilizados.

En el caso de España se crea la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) por la administración pública, que se encarga de acreditar a los verificadores para que puedan realizar los informes de seguimiento de emisiones en las instalaciones.

A continuación se muestra un esquema del funcionamiento del seguimiento y verificación de los datos.

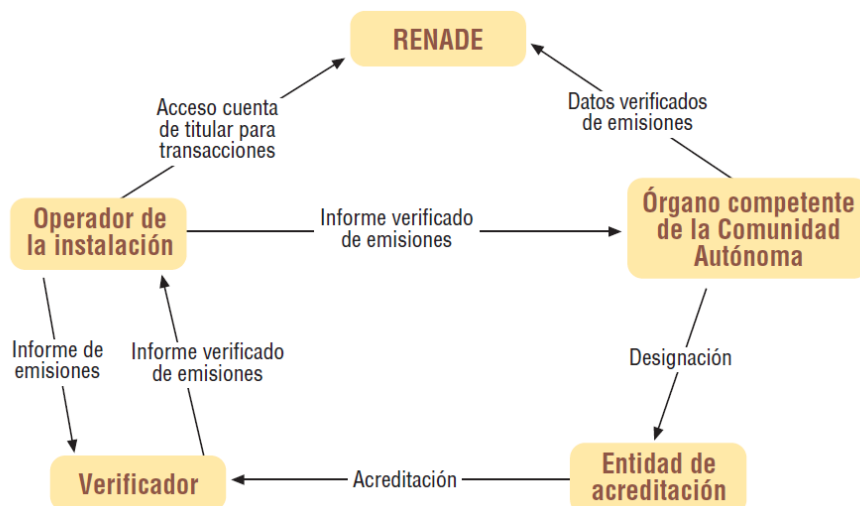


Figura 3: Esquema de seguimiento y verificación de los derechos de emisión.

Entrega de derechos

Antes del 30 de abril de cada año, los titulares de las instalaciones incluidas en el Comercio Europeo de Derechos de Emisión deben proceder a la entrega de una cuota o techo de emisión denominada UCAs (Unidad de Cantidad Atribuída, en inglés Assigned Amount Units, AAUs) cada UCA corresponde a una tonelada de CO_{2-eq}. Dentro del Comercio Europeo de Derechos de Emisión, los titulares pueden entregar los siguientes tipos de unidades de emisión para cumplir con su techo de emisiones y obligaciones de reducción de emisiones, que se muestran a continuación:

-Unidades de Asignación Europeas' (UAEs o en inglés European Union Allowances, EUAs). expedidos por la Administración General del Estado y transferidos anualmente a sus cuentas en el RENADE o expedidos en otro Estado Miembro y adquiridos mediante compra.

-Unidades de Reducción de Emisiones (UREs) unidades de reducción expedidas por los Países a nexo I a partir de sus UCAs, en virtud de proyectos de Aplicación Conjunta.

-Reducciones Certificadas de emisiones (RCEs): créditos entregados por el administrador del registro MDL en virtud de proyectos del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).

-Unidades de Absorción (UDAs o en inglés Removal Unit, RMU), Unidades de reducción obtenidas por el uso de Sumideros Biológicos o de Carbono.

Sobre las UREs y las RCEs se establece un límite máximo de entrega en función de la actividad de que se trate. Asimismo, existen limitaciones sobre la tipología de proyectos admisibles. Así, no se permiten en este ámbito los créditos procedentes de proyectos forestales o nucleares. Los proyectos de grandes presas son aceptables, pero deben ajustarse a unas directrices específicas.

Todos los Estados-miembros tienen que entregar la misma cantidad de derechos de emisión, que tCO_{2-eq} hayan emitido al final del período de Kioto. $tCO_{2-eq} \leq UCAs + UREs + RCEs + UDAs$.

Cundo a un titular de una instalación le sobra derechos de emisión puede optar por tres soluciones:

1. No venderlos, y utilizarlos en los posteriores períodos para, hacer frente a posibles necesidades futuras.
2. Venderlos a países y/o instalaciones, que lo puedan necesitar, porque hayan consumido su cuota de emisión para ese año.
3. Cancelarlos, desapareciendo del mercado.

Sanciones y multas

Las instalaciones que no entreguen los derechos suficientes para cubrir sus emisiones con carácter anual están sujetas a un régimen de sanciones que incluye una multa disuasoria y su inclusión en un listado público que les identifica como infractores.

Durante el primer período del esquema (2005-2007), existía una sanción administrativa de 40€ por tonelada de CO₂ excedida, o por la que el titular de la instalación no hubiera entregado el correspondiente derecho. Esta multa, por infracción muy grave, asciende a 100€ por tonelada de CO₂ para el segundo período (2008-2012) y no exime al titular de compensar, en el siguiente año, el déficit de entrega resultante del año anterior, medida que garantiza además que el resultado ambiental se cumple de cualquier forma. Para el tercer período se mantienen la misma sanción que para el segundo período.

Calendario anual de cumplimiento

Todas las instalaciones afectadas por el Comercio Europeo de Derechos de Emisión han de cumplir con un calendario anual para la entrega de derechos para cada año natural del período de asignación. En España, el calendario de cumplimiento de entrega de informes y derechos de emisión es el siguiente:

- Los derechos de emisión son expedidos para cada año el 28 de febrero de ese mismo año.

- Antes de cada 28 de febrero del año siguiente el operador de la instalación debe presentar a la Comunidad Autónoma correspondiente el Informe Anual de emisiones Verificado por una entidad independiente acreditada por la Comunidad Autónoma en que se encuentra la instalación.

- A 31 de marzo la Comunidad Autónoma debe haber inscrito en el registro las emisiones verificadas del año anterior correspondientes a cada instalación.

- Los operadores deben entregar los derechos de emisión correspondientes a las emisiones verificadas del año anterior cada 30 de abril.

- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) se establece el Artículo 12[12] del Protocolo de Kioto, los reglamentos y modalidades detalladas para el MDL fueron acordados posteriormente por las Partes en 2001, como parte de los llamados Acuerdos de Marrakech, realizados por la COP7, todo ello supervisado por la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio, que trabaja bajo la autoridad y orientación de la Conferencia de las Partes en calidad de Reunión de las Partes (CP/CRP).

Objetivo

Este mecanismo promueve la ejecución de proyectos de reducción de emisiones de GEI en los países en desarrollo, países no anexo I (son los países que reciben el proyecto MDL), mediante la transferencia de tecnologías más limpias e innovadoras, y recursos financieros, que hacen posible la reducción de emisiones de GEI. Esas reducciones tienen el nombre de Certificados de Emisiones Reducidas (CERs¹⁹) o bonos de carbono. Los países industrializados, países anexo I (son los países inversores en el proyecto MDL), compran los CERs a los países en vías de desarrollo para cumplir con sus obligaciones de reducción de emisiones firmados en el Protocolo de Kioto (ver anexo III).

La venta de los CERs a los países industrializados mediante el mercado de carbono genera ingresos a los países donde se desarrollan los proyectos.

Requisitos de los países a participar

Los países participantes en los proyectos de MDL deben respetar las siguientes pautas.

- El proyecto deber haberse desarrollado con posterioridad al 1 de enero del 2000.

- Los proyectos deberán generar un mínimo de 5000 toneladas de CO₂-eq año, para ser rentables.

- Para minimizar los costos de transacción y los tiempos de tramitación de los proyectos, es recomendable ceñirse a proyectos donde existan metodologías de cálculo ya aprobadas. Las actividades de recuperación de metano, energías renovables y cambio de combustible cuentan con metodologías consolidadas.

-País Anexo I:

- Ratificar el Protocolo de Kioto.
- Determinación previa de la cantidad atribuida
- Tener un sistema nacional para estimar las emisiones.
- Tener establecido un registro nacional.
- Presentación del inventario anual de emisiones.
- Presentación de información suplementaria sobre la cantidad atribuida.
- Designar una autoridad nacional.

-País no Anexo I:

¹⁹ 1 CER =1 RCE= a 1 t CO₂ eq. reducida mediante un proyecto MDL

- Ratificar el Protocolo de Kioto.
- Designar una autoridad nacional.
- No estar en el anexo B del Protocolo de Kioto. (Véase anexo III)

- Mecanismo de Aplicación Conjunta. (AC)

El Mecanismo de Aplicación Conjunta (AC) se establece el Artículo 6[13] del Protocolo de Kioto, los reglamentos y modalidades detalladas para la AC fueron acordados posteriormente por las Partes en 2001, como parte de los llamados Acuerdos de Marrakech, COP7 todo ello supervisado por El Comité de Supervisión que actualmente trabaja en la elaboración de las normas de procedimiento y otras cuestiones regulatorias.

Objetivo

Este Mecanismo permite la inversión, de un país desarrollado (país inversor del proyecto AC), del anexo I, en otro país con mercado de transición (país receptor del proyecto de AC), del del anexo I, en proyectos de reducción de emisiones o de fijación de carbono. El país receptor, se descuenta las Unidades de Reducción de Emisiones (UREs²⁰) del proyecto, que adquiere del país inversor.

Al país inversor le cuesta menos la reducción de carbono de lo que le hubiese costado en su propio país, y el país receptor, consigue inversiones extranjeras en tecnologías adelantadas e inocuas para el medio ambiente. No sólo los gobiernos, sino también las empresas y otras entidades públicas pueden participar directamente en estos proyectos, siempre y cuando sean autorizadas por las Partes del Protocolo de Kioto que participen en el proyecto de AC.

Todos los países del anexo I podrán ser receptores de proyectos de Aplicación Conjunta, sin embargo, en la práctica, los potenciales países receptores, serán los países de Europa Central y del Este, países con economías de transición, tanto por sus escenarios de emisiones, como por su estructura económica, que hacen que las inversiones en estos países sean más atractivas y eficientes que en el resto de países desarrollados. Los países con economías en transición, se beneficiarán de las inversiones en tecnologías limpias y de la modernización de sus sectores económicos.

En resumen la ejecución de un proyecto de AC implica una transferencia de UREs de un país a otro, pero las emisiones totales autorizadas en los países sigue siendo igual (suma con resultado cero).

Requisitos de los países a participar

Los requisitos necesarios para poder desarrollar proyectos de Aplicación Conjunta fueron establecidos durante la cumbre de Marrakech y son los siguientes:

²⁰ 1 UREs = 1 ERU = 1 t CO2 eq. reducida mediante un proyecto AC.

- Ratificar el Protocolo de Kioto.
- Determinación previa de la cantidad atribuida.
- Tener un sistema nacional para estimar las emisiones.
- Tener establecido un registro nacional.
- Presentación del inventario anual.
- Presentación de información suplementaria sobre la cantidad atribuida.
- Designar una autoridad nacional.

2.2.6.2. Sumideros Biológicos o de Carbono

El Sumidero Biológico²¹ o de Carbono, es otra media complementaria a los Mecanismos de Flexibilidad descritos anteriormente, para el cumplimiento de la reducción de emisiones de GEI del Protocolo de Kioto, están regulados por los artículos 3.3 y 3.4 [14] del Protocolo de Kioto.

España ha estimado el potencial de absorción de los sumideros en un 2% de las emisiones del año base. Las emisiones del año base son 289,773 millones de toneladas de CO₂-eq, por lo que el 2% correspondiente son 5,795 millones de toneladas de CO₂-eq.

Según la normativa internacional vigente, los únicos actores que pueden emplear este tipo de unidades para cumplir su compromiso de Kioto son los países desarrollados que han ratificado el Protocolo de Kioto.

Objetivo

Los sumideros biológicos se encargan de reducir o capturar las emisiones de GEI, mediante ciertas actividades: el uso de la tierra, cambios de uso del suelo y silvicultura (LULUCF), lo que incluye, la forestación, la reforestación, la gestión de tierras agrícolas, la gestión de bosques, la gestión de pastizales y el restablecimiento de la vegetación, que se consideran sumideros.

Las unidades de reducción de emisiones que utiliza este sistema se denomina UDAs²², las cuales son unidades no permanentes (el carbono puede ser remitido a la atmósfera y así contabilizado entonces), sólo pueden ser empleadas por los países desarrollados ver anexo I, y no son canjeables por derechos de emisión del sistema europeo, por lo que quedan en los haberes de los estados.

²¹ Se conoce como Sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal, la fotosíntesis (proceso por el que los vegetales captan CO₂ de la atmósfera o disuelto en agua y con la ayuda de la luz solar lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares). Mediante esta función, los vegetales absorben CO₂ que compensa las pérdidas de este gas que sufren por la respiración y lo que se emite en otros procesos naturales y/o artificiales.

²² 1UDAs = 1RMUs = a 1 t CO₂-eq absorbida por un sumidero biológicos.

Por cada tonelada de CO₂-eq absorbida por los sumideros en un país, se genera una UDA en el registro nacional de derechos de emisión, que permitirá al país emitir otra tonelada adicional de CO₂.

De ahí surge la problemática con los Sumideros Biológicos para la reducción de emisiones de GEI, que describiremos a continuación.

Problemática Causada por los sumideros

1. No son permanentes, no se puede almacenar CO₂ en la vegetación de forma permanente. La vegetación puede descomponerse, deteriorarse, morir, incendiarse, ser atacada por plagas o ser talada.

2. Entrañan incertidumbre en cuanto al cómputo de CO₂ absorbido. El cálculo de la cantidad de CO₂ almacenado y secuestrado en la vegetación está lleno de incertidumbres. Las estimaciones pueden variar significativamente dependiendo de la metodología utilizada, de los supuestos de partida y de los recursos naturales que se consideren sumideros a efectos de cálculo (ej: suelos, desechos, biomasa subterránea).

3. Fomentan la proliferación de plantaciones que pueden ser perjudiciales. El uso de UDAs, constituye un incentivo para los promotores que fomenta las plantaciones de rápido crecimiento y bajo coste, que tengan una elevada capacidad para absorber CO₂. Estas plantaciones suelen tener un impacto negativo en la biodiversidad, especialmente si desplazan los ecosistemas autóctonos.

Por estos motivos para el período 2013-2020, se ha dejado fuera a los Sumideros Biológicos porque hacen una herramienta poco eficaz contra la lucha al cambio climático

2.3. Normativa en España

2.3.1. Derechos de emisión

En España el comercio de derechos de emisión entró en vigor el 1 de enero de 2005, regulado por la LEY 1/2005, a su vez regulado por la Directiva 2003/87/CE. En noviembre de 2008 mediante la Directiva 2008/101/CE[15], por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE se incluye al sector de la aviación en el EUETS ,que entró en vigor a partir del 1 de enero de 2012. Más tarde, en abril de 2009, la Directiva 2009/29/CE, modificó la Directiva 2003/87/CE, para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de GEI. En España, en julio de 2010 la Ley 13/2010 [16], modifica la Ley 1/2005.

La estrategia de España para cumplir sus compromisos se encuentra recogida en el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de GEI que se desarrolla a continuación.

2.3.2. El Plan Nacional de Asignación

Como se vio en el apartado asignación de derechos de emisión, todos los países participantes en Kioto están obligados a elaborar y presentar un PNA, en el que se determinará la cantidad total de derechos de emisión a asignar durante cada período de compromiso, y el procedimiento de asignación aplicado, para cada instalación del anexo V.

A través del PNA, cada país miembro asigna el conjunto de derechos de que dispone, de acuerdo con los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto, entre las industrias contaminantes sujetas al mecanismo “cap-and-trade” y entre las distintas instalaciones en cada sector, incluyendo además una reserva de derechos de emisión para nuevos entrantes en los diversos sectores. El reparto de derechos entre sectores e instalaciones depende de criterios fijados por cada país miembro, como las emisiones históricas o las emisiones esperadas en el futuro. Se reparten de forma gratuita o por subastas. En España se estableció el Plan Nacional de Asignación 2005-2007 (a partir de ahora PNA I), y el Plan Nacional de Asignación 2008-2012 (a partir de ahora PNA II), actualmente para el período 2013-2020 se han suprimido los PNA por un sistema centralizado con un techo de emisiones comunitario.

A continuación se detallan las características más importantes de los PNA para cada período.

2.3.2.1. Período 2005-2007

En este periodo se da el PNA I, se concibió a nivel europeo como una prueba preliminar del PNA II o periodo de compromiso del Protocolo de Kioto, sus características más importantes se describen a continuación.

-Método de asignación, los derechos de emisión se asignaban aplicando una metodología, denominada como grandfathering, en función de previsiones de evolución de los sectores, parámetros técnicos y emisiones de referencia previas, concretamente las referidas al trienio 2000-2002, con un incremento adicional del 3,5% de las emisiones de CO₂.eq de los sectores afectados por el anexo V, para nuevos entrantes, la Ley 1/2005 define como nuevo entrante a toda instalación que lleve a cabo una o más de las actividades indicadas en el anexo V, a la que se le conceda una autorización de emisión de gases de efecto invernadero por tratarse de una nueva instalación o una renovación de la autorización debido a un cambio en el carácter o el funcionamiento de la instalación o una ampliación de ésta con posterioridad a la notificación del Plan Nacional de asignación.

-Tipo de asignación, el 95% de derechos de emisión será asignado de forma gratuita, en las instalaciones, y el 5% restante, por subastas. Existen dos tipos principales de subastas, 1) Spot (al contado) y 2) forward (futuros). En la siguiente tabla se muestran sus principales diferencias.

Principales diferencias entre los tipos de Subastas.					
Tipo de Subasta	Entrega	Precio	Uso	Pago	Garantías
Spot o al contado	1 o 2 días desde el cierre de operación	Menor	25%	Menos de siete días desde la firma del contrato	Menor
Forward o de futuro	Fecha en el futuro Ej: Dic 2013	Mayor	75%	A Plazo	Mayor

Tabla 3: Principales diferencias entre Spot vs Forward.

La mayor parte de las operaciones que se realizan son operaciones a futuro, suponen un 75%, donde las dos partes de la operación, comprador y vendedor, fijan la cantidad de activos de carbono que van a intercambiar, el precio y la fecha de entrega y pago de los mismos.

Debido a la especialización del mercado, por la participación en éste de actores especuladores, principalmente bancos, han ido surgiendo productos financieros específicos como los swaps, que se han ido implantando en el mercado. Este tipo de productos consiste en un cambio de EUA por CER, aprovechando el margen de

flexibilidad que permite el sistema (es decir, el uso de CER en lugar de EUA para el cumplimiento de las obligaciones de entrega).

A continuación se muestra una tabla, con la asignación de derechos de emisión, emisiones reales verificadas y tasa de cobertura de la UE-25 para el PNA I.

En la segunda columna se muestra la media anual ²³ de derechos de asignación para el período 2005-2007 en miles de toneladas de CO₂-eq. La tercera columna son la emisiones reales y verificadas del período, la sexta columna es la tasa de cobertura ²⁴(%).

País	Asignación de derechos de emisión. (miles de tCO _{2eq})		Emisiones reales verificadas (miles de tCO _{2eq})		Tasa Cobertura (%)
	2005-2007	% s/ total	2005-2007	% s/ total	
Alemania	495.424	23,8	480.052	23,6	103,2
Austria	32.589	1,6	32.502	1,6	100,27
Bélgica	59.564	2,9	54.311	2,7	109,67
Chipre	5.661	0,3	5.245	0,3	107,94
Dinamarca	31.038	1,5	30.028	1,5	103,37
Eslovaquia	30.481	1,5	25.097	1,2	121,45
Eslovenia	8.692	0,4	8.870	0,4	97,99
España *	166.037	8,0	183.308	9,0	90,58
Estonia	18.763	0,9	13.354	0,7	140,51
Finlandia	44.635	2,1	40.087	2,0	111,34
Francia	150.052	7,2	128.293	6,3	116,96
Grecia	71.162	3,4	71.317	3,5	99,78
Hungría	30.236	1,5	26.281	1,3	115,05
Irlanda	19.238	0,9	21.797	1,1	88,26
Italia	208.152	10,0	226.606	11,1	91,86
Letonia	4.054	0,2	2.881	0,1	140,71
Lituania	11.465	0,6	6.373	0,3	179,89
Luxemburgo	3.229	0,2	2.628	0,1	122,89
Malta	2.179	0,1	1.995	0,1	109,26
Países Bajos	86.439	4,2	78.976	3,9	109,45

²³ Media anual= (asignación 2005 + asignación2006 + asignación 2007)/3.

²⁴ Tasa de cobertura: es la relación entre los derechos que se asignaron, respecto a las emisiones reales verificadas.

Polonia	237.553	11,4	207.461	10,2	114,5
Portugal	36.909	1,8	33.580	1,6	109,91
Reino Unido	209.317	10,1	250.085	12,3	83,7
República Checa	96.920	4,7	84.638	4,2	114,51
Suecia	22.540	1,1	19.437	1,0	115,96
Total UE-25	2.082.39	100	2.035.202	100	102,32

Tabla 4 [17]: Asignación de derechos de emisión, emisiones reales verificadas y tasa de cobertura de la UE-25 para el PNA I

Bulgaria y Rumania aún no estaban dentro de la UE, no entraron hasta el 1 de enero de 2007, se le asignaron solo para el 2007: Bulgaria 42,3 millones de toneladas de CO₂eq/ año (M t CO₂eq/año), Rumania 74,8 M t CO₂eq/año. Por este motivo se hace el estudio de la UE 25.

*Las diferencias en los porcentajes de cobertura que pueden apreciarse entre esta tabla y la siguiente para el caso español, obedecen al distinto tratamiento contable de los derechos y emisiones verificado por la combustión de los gases siderúrgicos y por la inclusión, una vez iniciado el PNA I, de los dispositivos atomizadores en el sector cerámico.

En un análisis a nivel europeo, España representaba el 9,0% del total de las emisiones de CO₂-eq reales verificadas de la UE-25, y fue uno de los pocos estados que muestra un déficit en la asignación con el 90,58% de tasa de cobertura, es decir se generó 183,308 MtCO₂-eq, un 10,40% más de emisiones que las que se tenían asignadas.

La siguiente tabla nos muestra las asignaciones y verificaciones entre los sectores afectados por los derechos de emisión para el periodo 2005-2007. En miles de toneladas de CO₂-eq.

	Promedio asignación anual (miles de tCO _{2eq})	Emisiones Verificadas (miles de tCO _{2eq})					% Tasa de Cobertura
Sectores afectados	2005-2007	2005	2006	2007	Promedio de emisiones anuales	Participación n %	
Generación eléctrica	83.084,60	100.974,90	93.828,80	99.587,70	98.130,50	53,50	84,70
Cogeneración	20.135,90	14.166,50	17.076,90	18.066,90	16.436,80	9	122,5
Refino de petróleo	15.458,40	15.464,20	15.494,80	15.138,00	15.365,70	8,4	100,6
Siderurgia y coque	11.521,80	11.314,20	11.052,50	11.369,90	11.245,50	6,1	102,5
Cemento	28.368,80	27.384,60	27.366,00	27.468,10	27.406,20	15	103,5
Cal	2.451,60	2.063,20	2.205,10	2.335,80	2.201,40	1,2	111,4
Vidrio	2.252,40	1.993,20	1.996,90	1.974,90	1.988,30	1,1	113,3
Fritas	704,1	579,2	551,5	497,8	542,8	0,3	129,7
Ladrillos y Tejas	4.923,00	4.870	5.002	4.830	4.900	2,2	100,4
Azulejos y Baldosas	1.377,10	801,1	1.381,50	1.358,30	1.180,30	0,6	116,6
Papel y Cartón	5.520,50	4.740,50	4.611,00	4.711,60	4.687,70	2,6	117,8
Total sectores afectados	175.798,20	183.626,70	179.711,10	186.552,10	183.296,60		95,90
Total Emisiones España		432.834	424.247	432.009			
Total sectores afectados/ Total emisiones España		42,42%	42,36%	43,18%			

Tabla 5 [18]: asignaciones y verificaciones entre los sectores afectados por los derechos de emisión para el periodo 2005-2007

Se asignaron 175,798 MtCO_{2-eq}, en promedio anual, las entidades verificadoras registraron un promedio anual de 183,296 MtCO_{2-eq}, lo que se traduce en una tasa de cobertura para el conjunto de las instalaciones afectadas por la emisión de derechos de emisión de un 95,90%, es decir se asignaron menos derechos de los que fueron necesarios para el período.

En cuanto al sector cerámico (vidrio, fritas, ladrillos y tejas, azulejos y Baldosas) se le asignaron 9,256 MtCO₂-eq en promedio anual, y se registraron 8,611 MtCO₂-eq, en promedio anual, suponiendo un excedente de 7,49%. En cuanto al sector ladrillos y tejas se le asignaron 4,923 MtCO₂-eq, en promedio anual, y se registro promedio anual de 4,9 MtCO₂-eq, lo que supone un excedente de derechos de asignación de 0,46%.

Además podemos observar que la media total de los sectores afectados por el PNA I supone un 42,66 % ((42,42% + 42,36% + 43,18%) / 3).

En general se asignaron más derechos de los que se necesitaron para todos los sectores, menos el sector eléctrico.

2.3.2.2. Período 2008-2012

En este periodo se estable el PNA II, es un esfuerzo de reducción de emisiones de GEI adicional, de tal manera que, al final del período, las emisiones nacionales de GEI no deberían sobrepasar más allá de un 37% las emisiones del año base (283,2 MtCO₂-eq) . Así, la cantidad total de derechos asignados para el período 2008-2012 asciende a 152,3 MtCO₂-eq, lo que supone una reducción del 8,2% respecto a las emisiones asignadas en el PNAI (166,037 MtCO₂-eq).

Método de asignación: Por otra parte, la metodología de asignación de este segundo plan presenta diferencias importantes respecto al PNA I. Aunque ambas se basan en datos históricos metodología denominada como *grandfathering*, en el actual plan, además de haber aumentado su horizonte temporal en dos años sobre el PNA I, no sólo se tienen en cuenta las emisiones, sino también las intensidades de emisión, es decir, las toneladas de CO₂-eq vinculadas a cada tonelada de producción, lo que se conoce como metodología *benchmarking*.

Tipo de asignación: las instalaciones deben recibir gratuitamente al menos un 90% del total de los derechos asignados en el período, el resto de los derechos será asignado por subasta hasta llegar al 100%.

La siguiente tabla muestra la asignación anual media del PNA I y PNA II, así como el % incrementado en el PNA II respecto al PNA I.

La segunda columna nos muestra la asignación de derechos de emisión para la media anual de los derechos asignados 2005-2007, en miles de toneladas de CO₂-eq. La quinta columna muestra la media anual de los derechos asignados 2008-2012 en CO₂-eq. La última columna muestra el % de incremento de derechos asignados en el PNA II respecto al PNA I.

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO EN LA INDUSTRIA CERÁMICA, SECTOR LADRILLO, EN ESPAÑA

	% Incremento de PNA II / PNA I				
	2005-2007	% s/ total	2008-20012	% s/ total	
Alemania	495.424	23,8	453.100	23,0	-8,54%
Austria	32.589	1,6	30.700	1,6	-5,80%
Bélgica	59.564	2,9	58.500	3,0	-1,79%
Chipre	5.661	0,3	5.480	0,3	-3,20%
Dinamarca	31.038	1,5	24.500	1,2	-21,06%
Eslovaquia	30.481	1,5	30.900	1,6	1,37%
Eslovenia	8.692	0,4	8.300	0,4	-4,51%
España	166.037	8,0	152.300	7,7	-8,27%
Estonia	18.763	0,9	17.720	0,9	-5,56%
Finlandia	44.635	2,1	37.600	1,9	-15,76%
Francia	150.052	7,2	132.800	6,7	-11,50%
Grecia	71.162	3,4	69.100	3,5	-2,90%
Hungría	30.236	1,5	26.900	1,4	-11,03%
Irlanda	19.238	0,9	22.300	1,1	15,92%
Italia	208.152	10,0	195.800	10,0	-5,93%
Letonia	4.054	0,2	3.430	0,2	-15,39%
Lituania	11.465	0,6	8.800	0,4	-23,24%
Luxemburgo	3.229	0,2	2.500	0,1	-22,58%
Malta	2.179	0,1	2.100	0,1	-3,63%
Países Bajos	86.439	4,2	85.800	4,4	-0,74%
Polonia	237.553	11,4	208.500	10,6	-12,23%
Portugal	36.909	1,8	34.800	1,8	-5,71%
Reino Unido	209.317	10,1	246.200	12,5	17,62%
República Checa	96.920	4,7	86.800	4,4	-10,44%
Suecia	22.540	1,1	22.800	1,2	1,15%
Total UE-25	2.082.39	100	1.967.730	100	8,44%

Tabla 6 [19]: Asignación anual media del PNA I y PNA II.

Se puede observar que se han reducido un 8,44% (1967,730 MtCO_{2-eq}), los derechos asignados para el PNA II en la UE-25, ya que en el PNA I se repartió más de lo que se necesitaba. En el caso de España se ha reducido un 8,27% (152,3 MtCO_{2-eq}), los derechos asignados, para que se puedan cumplir con los objetivos de Kioto.

Para el caso de Bulgaria se mantiene la asignación de 42,3 M t CO_{2eq}/ año, y en el caso de Rumania se reduce a 73,2 M t CO_{2eq}/ año es un -0,54% respecto al PNA I.

La siguiente tabla recoge el promedio anual de derechos asignados en España, por los sectores afectados por los PNA I y PNA II.

Sectores Afectados	Promedio de asignación anual (M t CO _{2 eq} / año)		Incremento PNA II vs PNA I (%)
	PNA I	PNA II	
Generación eléctrica	83,08	54,42	-34,5
Cogeneración	20,14	17,67	-12,3
Refino de petróleo	15,46	16,13	4,3
Siderurgia y coque	15,46	12,21	6
Cemento	28,37	29,02	2,3
Cal	2,45	2,41	-1,6
Vidrio	2,25	2,21	-1,8
Fritas	0,7	0,62	-11,4
Ladrillos y Tejas	4,92	4,36	-11,4
Azulejos y Baldosas	1,38	1,44	4,3
Papel y Cartón	5,52	5,48	-0,7
Total sectores afectados	175,78	145,97	-17

Tabla 7 [20]: promedio anual de derechos asignados en España, por los sectores afectados por los PNA I y PNA II.

Como se puede observar el sector cerámico se redujo un -20,3% (8,63 M t CO_{2eq} /año), repartido en -1,8% (2,21M t CO_{2eq} /año) Vidrio, -11,4% (0,62 M t CO_{2eq} /año) Fritas, -11,4% (4,36 M t CO_{2eq} /año) ladrillos y tejas 4,3 % (1,44 M t CO_{2eq} /año) Azulejos y Baldosas. El número de derechos asignados que se redujo por el conjunto fue un -17% (145,97 M t CO_{2eq} /año).

Se asignaron gratuitamente un total de 729,85 M t CO_{2eq} para este período de asignación de cinco años, esta cifra equivale a un reparto de 145,97 M t CO_{2eq} /año, entre las instalaciones incluidas en el anexo V, lo que es equivalente, a una reducción del 17 % (145,97 M t CO_{2eq}) respecto al PNA I.

Además ha supuesto un incremento del 45% de emisiones cubiertas por las instalaciones afectadas por el PNA II.

2.3.2.3. Período 2013-2020

Paran este período actual de ocho años se aprobó y voto, el 17 de diciembre de 2008 El Paquete de Energía y Cambio Climático, el cual es un conjunto bases legislativas que fueron presentadas por la Comisión Europea el 23 de enero de 2008, cuyos objetivos se deben cumplir hasta el año 2020 y son dos:

1. Reducir las emisiones totales de GEI al menos en un 20%, respecto de los niveles de 1990, y en un 30%, si otros países desarrollados se comprometen a reducciones de emisiones equivalentes, y los países en desarrollo más avanzados contribuyen adecuadamente en función de sus posibilidades.

2. Un 20% de mejora de la eficiencia energética, y un consumo de energías renovables de un 20%.

Dentro de los componentes clave del Paquete Energía y Cambio Climático se encuentra la nueva Directiva de 2009/29/CE, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, además de esta directiva, en España está vigente la Ley Ley 13/2010 de 5 de julio, por la que se modifica la Ley 1/2005. Las modificaciones para este período son:

A. Se establecen un techo de emisiones sectorial y centralizado a nivel comunitario, desapareciendo así los 27 PNAs de cada país de la UE 27. Este cambio tiene como objetivo anular las diferencias que se podían dar entre los distintos PNAs de cada Estado-miembro, creando igualdad de condiciones entre todos los sectores afectados. Además, a partir del 1 de enero de 2012, los derechos de emisión están contenidos en un registro comunitario.

B. El número total de derechos debe ir reduciéndose cada año de un modo lineal 1,74%, desde 2010 hasta 2020. El punto de partida de esa línea descendente es la media de la cantidad total de derechos) que van a expedir los Estados miembros en el período 2008-2012, corresponde a 2.083 MtCO₂, de tal forma que en 2020 se haya alcanzado una reducción del 21% respecto al volumen de 2005. Este 1'74%, puede revisarse a medida que pasen los años.

C. Se mantiene el registro único comunitario para los derechos de emisión.

D. Se incluyen nuevas actividades: producción y transformación de metales no férreos (aluminio, cobre, zinc), el secado y calcinado de yeso dentro de las industrias

minerales. Producción de ácido nítrico, ácido adípico, glioxal y ácido glioxálico, amoníaco, compuestos orgánicos de base, hidrógeno y carbonato sódico en la industria química. Captura, transporte por tubería y almacenamiento de CO₂ (véase anexo VII).

No se incluyen: instalaciones que hayan emitido menos de 25.000 t CO₂-eq en los últimos 3 años y tengan una capacidad térmica inferior a 35MW, los hospitales, instalaciones que usan exclusivamente biomasa, quedan excluidos del ámbito de aplicación.

E. Se establecen tres fórmulas básicas de asignación de derechos de emisión:

1. El 100% por subasta, para instalaciones de generación eléctrica y almacenamiento, transporte o captura de CO₂. Las cuales deben acudir a una subasta para comprar todos los derechos de emisión. Se mantienen los tipos de subastas spot y forward.

2. El 100% de asignación gratuita, a los sectores expuestos a fugas de carbono o deslocalización empresarial, este término hace referencia a las empresas pertenecientes a sectores industriales potencialmente expuestos a trasladarse a otros países donde no existe normativa sobre emisiones de GEI, con el fin de evitar gastos derivados del comercio de derechos de emisión.

El método de asignación gratuito de derechos es el benchmarking, que son un 10% de instalaciones más eficientes de cada sector, que se dio en el año 2007-2008. Los motivos por los que se asignan de forma gratuita el 100% de los derechos de emisión a para estas instalaciones son:

3. Introducción gradual de la subasta, para los sectores industriales que no están expuestos a fugas de carbono (véase VII), se distribuyen

1. Reciben gratuitamente el 80% en 2013, el 30% en 2020 hasta llegar a un 0% en 2027.

2. Tienen que comprar en una subasta 20% en 2013, 70% en 2020, hasta llegar al 100% en 2027.

F. Se prevé subastar entorno a 1.000 millones de derechos anuales con un valor aproximado, a precios actuales, de 15.000 millones de € ¿Dónde van a parar los fondos obtenidos?

1. El 88% de los fondos se distribuye entre todos los Estados miembros en base al peso de las emisiones de los sectores afectados en cada Estado miembro. Concretamente, para cada Estado se usa el máximo de las emisiones en 2005 y la media 2005-2007.

2. El 10% de la bolsa es para los Estados-miembros con menor renta per cápita y mayores costes de implantación del paquete, (véase anexo VIII)

3. El 2% de la bolsa se reserva a los Estados miembros que han logrado mayores reducciones en el ámbito del Protocolo de Kioto. Principalmente en países del Este. (Véase anexo IV)

G. Se establece una reserva de nuevos entrantes con un tamaño del 5% del volumen total de derechos de emisión aproximadamente 730 millones de derechos. Nuevo entrante se ha modificado ligeramente. Incluye las instalaciones nuevas y las ampliaciones de capacidad significativas, pero debe determinarse lo que se considera una ampliación significativa.

H. Los sumidero biológicos se mantienen fueran del período.

I. Los créditos procedentes de los mecanismos de flexibilidad del PNA II, se pueden usar para este período.

España, como otros países, se ha visto beneficiada indirectamente por algunas de las consideraciones realizadas en el paquete, tales como el establecimiento del año base, o el cumplimiento de criterios para aplicar regímenes de excepcionalidad, entre otros. El cambio de año base de 1990 año de referencia del Protocolo de Kioto, a 2005 por la decisión en la que se fijan los objetivos nacionales de reducción para cada Estado miembro ha premiado a España indirectamente, ya que alcanzaba en 2005 su techo histórico de emisiones con un incremento del 49,4% (432,834 M t CO_{2eq}/año.) en relación a 1990, con lo que el esfuerzo que tendrá que hacer para reducirlas será significativamente menor. La evolución de las emisiones de GEI se muestra en el apartado 2.3.3.

2.3.3. Evolución de las emisiones de GEI

El compromiso de España para el cumplimiento del Protocolo de Kioto para el periodo 2008-2012 es la limitación del crecimiento de las emisiones de GEI al 15% respecto del año base. Para cumplir con este objetivo, el Estado español ha elaborado un plan basado en un incremento máximo del 37% de las emisiones de GEI sobre el año base, ello supone una diferencia de 22 puntos porcentuales respecto de nuestro objetivo del 15%. Se prevé hacer frente a esta diferencia mediante, un -2% que hay que compensar por los Sumideros biológicos (bosques principalmente), un -20% de los derechos comprados por el uso de los MDL y AC.

En la siguiente tabla se muestra el histórico de emisiones de GEI producidos en España, para la serie formada por el año base utilizado para la determinación de la cantidad asignada del Protocolo de Kioto (Año Base PK) y para cada uno de los años del período 1990 a 2011.

Año Base PK	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
289.773	282.789	290.276	297.083	284.998	301.225	312.697	305.073	326.620	336.643	364.517	378.776

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
379.22	395.668	402.630	418.529	432.834	424.247	432.009	398.879	362.713	348.641	350.484

Tabla 8 [21]: Histórico de las emisiones totales de GEI en España.

(Cifras en kilotoneladas de CO_{2eq}) = 289.773 = 289,773 millones de toneladas de CO_{2eq}.

En la figura siguiente se muestra la evolución del índice de emisiones brutas de GEI en España, tomando como base 100 el Año Base PK, para cada uno de los años del período 1990 a 2011.

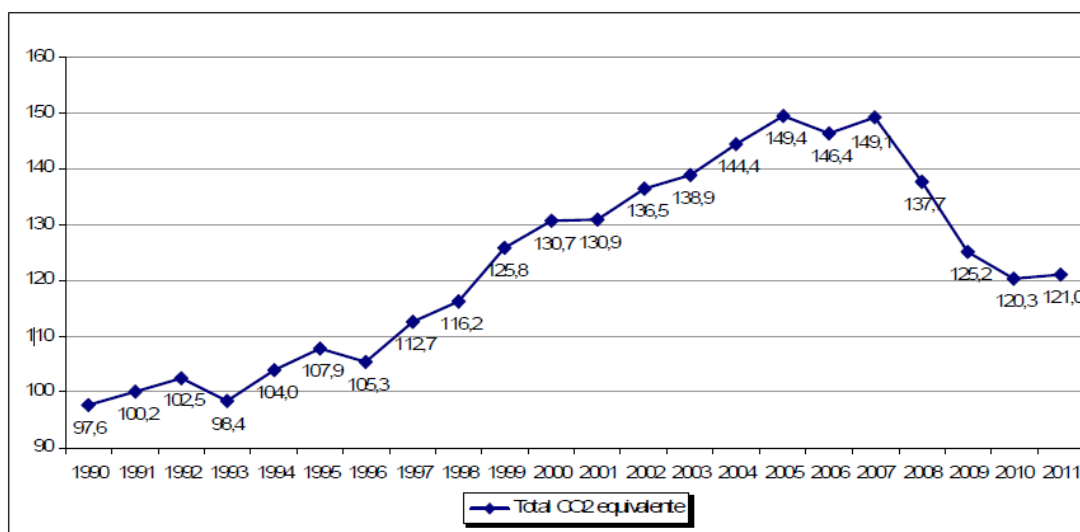


Figura 4 [22]: evolución del índice de emisiones brutas de GEI en España.

Como se puede observar en el gráfico, con datos cerrados en enero de 2013, las emisiones de CO_{2-eq} desde el año base hasta el año 2005 aumentaron 49,4%, llegando así al record histórico de 432,8 millones de toneladas de CO_{2eq}, situando el índice de referencia del Protocolo de Kioto en 149,4% (tomando como referencia 100% los 289,8 millones de toneladas del año base PK), esto fue debido al crecimiento económico y energético que se produjo en España, debido a lo que se conoce como burbuja inmobiliaria²⁵. En el año 2006 se da un punto de inflexión, y es partir del año 2007, cuando comienza un descenso considerable de las emisiones de GEI, debido al inicio

²⁵ La expresión burbuja inmobiliaria en España hace referencia a la existencia de una burbuja especulativa en el mercado de bienes inmuebles en España. tuvo su comienzo en 1997 y ha durado hasta finales de 2007 o principios de 2008.

de una recesión económica en Europa que se agudiza en España por la explosión de la burbuja inmobiliaria española, acompañada por una menor actividad y un menor consumo de energía, productos y servicios, situando el índice de referencia de Kioto en 120,3% son 5,3 puntos por encima del objetivo de Kioto.

A pesar de esta bajada brusca de emisiones, España sigue siendo uno de los países industrializados donde más han aumentado las emisiones de GEI y sigue necesitando un importante esfuerzo para cumplir el Protocolo de Kioto, se puede observar en el gráfico que en el año 2011 hay un aumento de 0,7 puntos de las emisiones del año anterior, situando el índice de referencia de Kioto en 121,3%, lo que deja una incertidumbre para el nuevo objetivo impuesto por la ampliación de del Protocolo de Kioto para el período 2013-2020.

Paralelamente, y de acuerdo con el objetivo fijado por la Unión Europea de reducir sus emisiones de GEI un 20% en el 2020 en el paquete clima y energía, el Estado español debe disminuir las emisiones difusas (las emisiones no incluidas en el Régimen europeo de comercio de derechos de emisión) un 10% con respecto a las emisiones del año 2005.

La industria cerámica, el sector ladrillo en España

El sector de la industria cerámica en España está compuesto por los siguientes subsectores: esmaltes, porcelana artística, sanitarios, loza y artesanía, cerámica técnica, azulejos y baldosa, y por último cerámica estructural este subsector está formado por la fabricación de: ladrillos, tejas, adoquín y pavimento cerámico, forjados, tabiques y muros, tableros para cubiertas, termoarcilla, y bovedilla.

El termino cerámica estructural, hace referencia a todos aquellos materiales tradicionalmente usados en la construcción, obtenidos mediante moldeo, secado y cocción de una pasta compuesta básicamente de arcilla.

3.1 Situación actual

La cerámica estructural en España pasó de producir 13 millones de toneladas anuales, con 540 empresas y 13.000 empleados en 1992, a 29,9 millones de toneladas anuales producidas con 430 empresas, y 14.000 empleados en 2006, aumentando su producción en un 130,2% respecto a los niveles de 1992, convirtiéndose así en el mayor productor europeo de cerámica estructural para la construcción. Esto fue debido al gran crecimiento social, económico, y tecnológico que sufrió el país en este período, debido a la burbuja inmobiliaria que ha tenido lugar desde el año 1997, con 17,5 millones de toneladas anuales producidas, hasta finales del 2007 con 28,8 millones de toneladas anuales producidas, principios del 2008 con 20 millones de toneladas anuales producidas, cuando se produjo su estallido. Dando lugar a un período de recesión económica ²⁶que dura en la actualidad, afectando así al sector, reduciendo su producción a 6,9 millones de toneladas anuales, con 260 empresas y 9.600 empleados

²⁶ Disminución generalizada de la actividad económica de un país o región, medida a través de la bajada, en tasa anual, del Producto Interior Bruto (PIB) real, durante un período suficientemente prolongado.

en 2011, reduciendo su producción a 23 millones de toneladas anuales, respecto a los niveles de 2006, lo que ha dado lugar a que muchas empresas hayan cerrado y otras estén con paradas productivas, para no acumular stocks, porque no cubren sus costes de producción y no pueden almacenar tanto material. Todos estos datos pueden observarse en la siguiente tabla y el gráfico.

Año	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Producción en M de t.	13	12,5	14	15	16	17,5	19,5	21,5	22,5	23,5
Nº de instalaciones	540	480	420	400	380	370	360	380	390	400
Nº de empleados	13.000	12.400	11.800	11.600	11.550	11.500	11.400	11.600	11.800	12.000

2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
24,5	26	27	28,5	29,93	28,8	20	9,4	7,70	6,9
405	410	420	425	430	430	300	280	275	260
12.100	12.200	12.500	13.000	14.000	14.140	12.850	11370	10230	9600

Tabla 9 [23]: comparativa Empresas, producción y empleados 1992-2011.

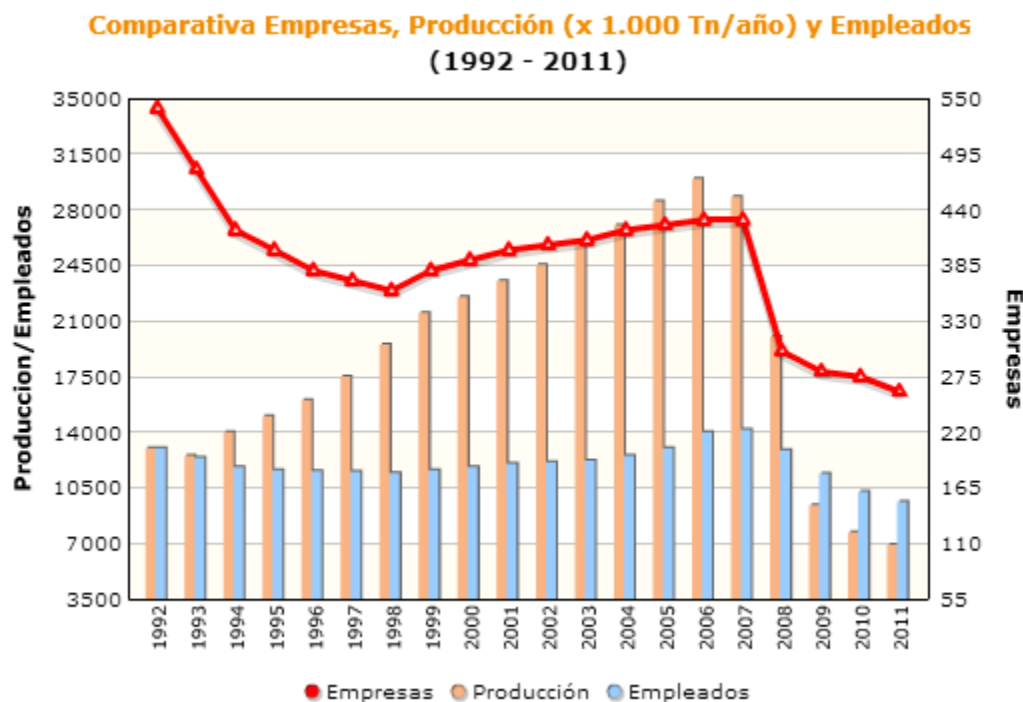


Figura 5 [24]: Evolución de la producción en el sector cerámico estructural Español 1992-2011.

A pesar de la crisis económica que se está llevando a cabo, en el año 2012 ha tenido lugar un crecimiento del 2% de la producción anual en el sector, respecto a los niveles de producción de 2011. Esto es debido que las empresas están exportando el 80% de la producción anual por el aumento de la demandan en Francia, Arabia Saudita, Rusia y Reino Unido. Lo que da lugar a una posible estabilización de la producción para años futuros, y quizás inicios de repunte, al mismo tiempo que mejore la situación económica en España.

3.2. Normativa de emisiones de GEI que afecta al sector

En cuanto a las emisiones de GEI, la industria cerámica española y el sector ladrillos y tejas (según la normativa vigente de derechos de emisión el sector de cerámica estructural se recoge en esta normativa como ladrillos y tejas), en particular se ven afectados por la Directiva 2009/29/CE, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, y por la Ley 13/2010, por la que se modifica la Ley 1/2005. Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación

pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (modifica Ley 16/2002)[25].

En estas dos normativas se hace referencia al sector en las siguientes actividades:

1. Actividades energéticas, en instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW, incluyendo:

- a) Instalaciones de producción de energía eléctrica de servicio público.
- b) Instalaciones de cogeneración con independencia del sector en el que den servicio.

Si superan ese umbral, de la cogeneración o generación simultánea, mediante turbinas o motores, del calor utilizado en las distintas fases del proceso de producción; la energía eléctrica se consume en la instalación cerámica o se cede al sistema eléctrico.

2. Industrias minerales, Instalaciones de producción y fabricación de:

- a) Vidrio incluida la fibra de vidrio, con una capacidad²⁷ de fusión superior a 20 toneladas por día.
- b) Productos cerámicos mediante horneado, en particular de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas, con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día, y una capacidad de horneado de más de 4 m³ y/o de más de 300 kg/m³ de densidad de carga por horno.

3.3 Emisiones de GEI en el sector

En este punto se va a estudiar las emisiones del sector a partir del año 2005 porque es cuando la producción en el sector empieza a ser más elevada. A continuación la tabla muestra la evolución de derechos asignados frente a las emisiones verificadas reales, para cada año.

²⁷ Que tengan la capacidad, aunque no lo produzcan se incluyen.

Kioto.	PNA I			PNAII				
Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Asignación derechos de emisión (M tCO ₂ -eq)	4,80	4,9159	5,0054	4,357416	4,357416	4,357416	4,357416	4,357416
Emisiones verificadas (MtCO ₂ -eq)	4,87	5,02	4,83	3,51	1,93	1,76	1,64	1,67
Superávit /déficit de emisiones²⁸ (MtCO ₂ -eq)	-0,07	-0,1741	0,1754	0,79	2,37	2,54	2,66	2,62
Emisiones Totales sectores ETS (M t CO ₂ -eq)	183,62	179,71	186,55	163,46	136,93	121,47	132,67	135,5

Tabla 10 [26]: Evolución de derechos asignados frente a las emisiones verificadas reales.2005-2012.

En la información suministrada se puede apreciar que existe una correlación entre la tendencia del volumen de producción, comentada anteriormente, y el volumen de emisiones registradas. Así durante los años 2005 (28,5 millones de toneladas producidas) y 2006 (29,93 millones de toneladas producidas) en los que hubo un incremento del volumen de producción, se produce un incremento de las emisiones registradas, de 4,87 MtCO₂-eq emitidas en el ejercicio 2005 se pasa a 5,02 MtCO₂-eq, emitidas en el ejercicio 2006. A su vez, se registras una disminución de las emisiones registradas durante los años 2007 (4,83 MtCO₂-eq) y 2012 (1,65 MtCO₂-eq), que va asociado al retroceso del volumen del nivel de producción (28,8 millones de toneladas producidas en 2007, a 7,03 millones de toneladas producidas en 2012).

Incluso, se puede apreciar, que existe un superávit entre la asignación de derechos y los derechos verificados que tiene lugar durante el año 2007 con 0,1754 millones de

²⁸ Superávit/déficit de emisiones: es la resta de la Asignación- Emisiones verificadas, si es + (superávit) si es - (déficit).

emisiones de superávit, hasta el año 2012, con 2,62 millones de emisiones de superávit, esto es debido al decremento de la producción y cierre o parada de instalaciones, producido por la crisis económica antes mencionada.

El sector cerámico para el año 2012 emitió 1,67 MtCO_{2-eq}, lo que supone un 1,23% de las emisiones totales emitidas (135,5 MtCO_{2-eq}), por los sectores afectados por la ley de GEI en España.

Se pone de manifiesto que la asignación de derechos de emisión durante este período no ha contemplado la situación coyuntural que está sufriendo actualmente el sector de la cerámica estructural y que ha provocado un estancamiento del volumen de producción. Esto conlleva a un excedente de derechos que cada empresa podrá determinar si los utiliza con el fin de aumentar sus beneficios vendiendo ese excedente en el mercado de derechos de emisión o quedárselos para el período 2013-2020, y paliar parcialmente la reducción de los ingresos que sufren las empresas por la caída de las ventas.

Como hemos mencionada en el apartado 2.3.2.3 período 2013-2020, a partir del 1 de enero de 2013, el número total de derechos debe ir reduciéndose cada año de un modo lineal 1,74%, desde 2010 hasta 2020. El punto de partida de esa línea descendente es la media de la cantidad total de derechos) que van a expedir los Estados miembros en el período 2008-2012, corresponde a 2.083 MtCO₂, de tal forma que en 2020 se haya alcanzado una reducción del 21% respecto al volumen de 2005. Este 1'74%, puede revisarse a medida que pasen los años.

En el sector ladrillos y tejas, se asignaron 4,3 millones de derechos de media en el período, que paulatinamente tendrán que ir reduciendo su asignación en 1,74%, repartido en este período de ocho años para llegar al objetivo de Kioto de reducción del 21 % respecto a los niveles de 2005 para cada sector, como se muestra en la siguiente tabla:

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Asignación derechos emisión (M tCO _{2eq})	4,3	4,22	4,15	4,079	4,008	3,93	3,87	3,79

Tabla 11 [27]: Asignación de derechos de emisión, en el sector ladrillos y tejas en España, para el período 2013-2020.

También, hay que sumarle que el sector cerámico estructural no está dentro de las actividades que tienen riesgo de deslocalización para el periodo 2013-2020, por ello la manera de recibir los derechos será como se muestra a continuación.

Asignación de derechos	2013	2020	2027(Objetivo)
Reciben gratuitamente	80%	30%	0%
Comprando en subasta	20%	70%	100%

Tabla 12: Asignación de derechos para el período 2013-2020.

Por todos estos motivos es necesario que el sector cerámico estructural a una esfuerzos para reducir las emisiones de CO_{2eq} en el proceso de fabricación de sus productos, por una parte para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones para el período 2013-2020, y que no les suponga sanciones, y por otra parte para aprovechar el excedente de derechos de emisión obtenidos, para obtener beneficios adicionales, mediante la venta de los derechos de emisión que se les asignara a título gratuito y que probablemente no van a utilizar por el descenso de la actividad productiva que se está produciendo en el sector.

3.4 ¿Cómo se calculan las emisiones de GEI en el sector?

Para la determinación de las emisiones de GEI que se llevan a cabo en cada instalación el titular de dicha instalación debe especificar una serie de variables: datos de la actividad, factores de emisión, datos de composición y factores de oxidación y conversión. Dichas variables se designan como niveles con números enteros de menor a mayor valor. La numeración creciente de los niveles desde uno hacia arriba refleja niveles de mayor precisión, siendo el nivel con el número más alto el más exacto. Los niveles equivalentes se designan con el mismo número de nivel y una letra específica (por ejemplo niveles 2a y 2b). Una vez obtenidas e identificadas las variables se podrán usar para el cálculo de las emisiones de GEI producidas en las instalaciones.

Tras el estudio del proceso de fabricación de ladrillos, llevado a cabo en el punto 4.2 y el estudio de sus emisiones, en el punto 4.3 de este trabajo, el principal GEI que se da en el sector es el CO₂ que se origina por: 1) emisiones de combustión, por la quema de combustibles fósiles (gas natural), y 2) emisiones de proceso por la descomposición del CaCO₃, en la cocción de la materia prima (arcilla). Los puntos referidos anteriormente se detallaran con mayor profundidad más adelante, aportando datos reales de emisiones

de CO₂ de tres instalaciones del Grupo Hermanos Díaz Redondo S.A, situadas en Cobeja, Toledo.

Para entender mejor este punto se deben definir las siguientes variables:

Datos de la actividad (DA): representan información sobre el flujo de materiales, el consumo de combustible, los materiales de entrada, expresados en contenido de energía (TJ)²⁹, determinado como valor calorífico neto para los combustibles y como masa o volumen para los materiales de entrada (t o m₃)³⁰.

Factores de Emisión (FE): están basados en el contenido de carbono de los combustibles o de los materiales de entrada y se expresan en (t CO₂/TJ) para emisiones de combustión, o en (tCO₂/t o tCO₂/m³) para emisiones de proceso. El titular puede utilizar un factor de emisión para un combustible expresado en contenido de carbono (tCO₂/t) en lugar de (tCO₂/TJ) para las emisiones de combustión si demuestra a la autoridad competente que esto da una precisión permanentemente más alta.

Para la conversión del carbono en el valor respectivo de CO₂, debe utilizarse el factor 3,667 [t CO₂/tC] (basado en las masas atómicas de Carbono₁₂ y Oxígeno₁₆).

Factores de oxidación/conversión (FO/FC); si un factor de emisión no refleja la proporción del carbono que no está oxidada, se utilizará un factor de oxidación/conversión adicional.

Los niveles más precisos requieren el cálculo de factores específicos de la actividad los cuales son explicados más adelante en este punto a la hora de su utilización.

Si se utilizan diferentes combustibles o materiales dentro de una instalación y se calculan factores de oxidación específicos de la actividad, el titular puede determinar un factor de oxidación agregado para la actividad y aplicarlo a todos los combustibles o materiales, o atribuir una oxidación incompleta a un flujo importante de combustible o material y utilizar un valor 1 para los demás.

Fuentes principales: a aquellas que ordenadas por orden decreciente contribuyen al menos en un 95 % a las emisiones totales de la instalación.

Fuentes secundarias: a aquellas que emiten 2.500 toneladas o menos al año, o que contribuyen como máximo a un 5 % de las emisiones totales de la instalación, considerándose la cifra más alta en valores absolutos.

Fuentes minoritarias: a aquellas fuentes secundarias que emiten conjuntamente como máximo 500 toneladas o el 1 % de las emisiones totales de la instalación, considerándose la cifra más alta en valores absolutos

1. Emisiones de combustión.

²⁹ Unidad de medida de energía en el sistema internacional. 1 Terajulio = 10¹² julios.

³⁰ Toneladas métricas, o metros cúbicos.

Para el cálculo de emisiones de combustión que afecten a diferentes tipos de combustibles fósiles (por ejemplo, carbón, coque de petróleo, fuel oil, gas natural y la amplia gama de combustibles residuales) que tengan lugar en las instalaciones de producción de cerámica estructural se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones de combustión}_i[\text{tCO}_2] = \text{Datos actividad}_i[\text{TJ}] \times \text{Factor de emisión}_i[\text{tCO}_2/\text{TJ}] \times \text{factor de oxidación}_i \quad (1)$$

Donde:

i, es el índice del contaminante calculado: CO₂, CH₄, etc.

$$\begin{aligned} DA[\text{TJ}] &= \text{Contenido de energía de consumo de combustible} = \\ &= \text{Combustible consumido}_i[\text{t ó m}^3] \times \text{Valor Calorífico neto}_i[\text{TJ/t o TJ/m}^3] \quad (2) \end{aligned}$$

Combustible consumido: se mide sin almacenamiento intermedio antes de la combustión en la instalación dando lugar a una incertidumbre permisible máxima inferior para el proceso de medición, de: $\pm 7,5\%$ para el nivel 1, $\pm 5\%$ el nivel 2a, $\pm 4,5\%$ para el nivel 2b, $\pm 2,5\%$ el nivel 3a, $\pm 2,0\%$ el nivel 3b, $\pm 1,5\%$ el nivel 4a, $\pm 1,0\%$ el nivel 4b.

Valor calorífico neto (VCN): es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación entre un combustible y un comburente, se mide en (TJ/t ó TJ/m³). Dependiendo de la fuente que se obtenga forma los distintos niveles:

-Nivel 1: obtenido de las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de efecto invernadero.

-Nivel 2: obtenido del último inventario nacional presentado por España a la Secretaría de la CMNUCC.

-Nivel 3: medido por el titular, un laboratorio contratado o el suministrador del combustible.

Factor de emisión (FE): Dependiendo de la fuente que se obtenga se tienen diferentes niveles:

-Nivel 1: obtenido de las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de efecto invernadero.

-Nivel 2a: obtenido del último inventario nacional presentado por España a la Secretaría de la CMNUCC.

-Nivel 2b: obtenido basándose en uno de los sustitutivos establecidos siguientes:

1. Medición de la densidad de aceites o gases específicos comunes, por ejemplo, a la industria del refinado o del acero.

2. Valor calorífico neto para tipos específicos de carbones, en combinación con una correlación empírica determinada por un laboratorio externo.

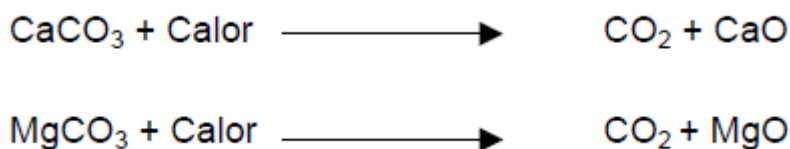
-Nivel 3: Medido por el titular, un laboratorio contratado o el suministrador del Combustible.

Factor de Oxidación (FO): Cuando se consume un combustible no todo su carbono se oxida pasando a CO₂. Se produce una oxidación incompleta debido a la ineficacia del proceso de combustión que deja parte del carbono sin quemar o parcialmente oxidado, como hollín o cenizas. El carbono no oxidado o parcialmente oxidado se tiene en cuenta en el factor de oxidación. Se dan diversos niveles.

Nivel 1: se supone un valor de oxidación de referencia de 0,99 (correspondiente a un 99 % de conversión de carbono en CO₂) para todos los combustibles sólidos y de 0,995 para todos los demás combustibles.

2. Emisiones de Proceso.

El sector de la cerámica estructural se ve afectado por las emisiones de proceso de CO₂ procedentes de la descomposición del carbonato cálcico (CaCO₃) y del carbonato de magnesio (MgCO₃) en menor medida, en la etapa de cocción, que contiene la materia prima utilizada en el proceso de fabricación de ladrillos.



Para calcular estas emisiones de CO₂ se utiliza el método de los carbonatos, que se detalla a continuación.

El Método de los carbonatos se basa en la cantidad de carbonatos transformados en el proceso de cocción de la arcilla, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones de proceso}_{\text{CO}_2}[\text{tCO}_2] = \left(\sum \{ \text{Datos actividad}_{\text{carbonatos}}[t] \times \text{Factor de Emisión}_{\text{carbonatos}} \text{CO}_2/t + \text{Datos actividad}_{\text{aditivos}} \times \text{Factor de emisión}_{\text{aditivos}} \text{CO}_2/t \times \text{Factor de Conversión} \right) (3)$$

Se supone que todos los carbonatos y aditivos se transforman después de la cocción, es decir, a la salida la concentración de carbonatos y de aditivos es cero. Esto se debe a que las temperaturas de cocción son altas (1230°C) durante un tiempo prolongado, y por lo tanto todo reacciona.

Donde:

Datos de la actividad Carbonato: se refiere a las cantidades en toneladas de CaCO_3 ó de MgCO_3 u otros carbonatos alcalinotérreos o alcalinos a la entrada del proceso de fabricación de productos.

Toneladas CaCO_3 ó MgCO_3 = toneladas brutas de materia prima x % CaCO_3 ó MgCO_3 .

Datos de la actividad Aditivos: se refiere a la cantidad de carbono en toneladas contenida en los aditivos a la entrada del proceso de fabricación. No todos los procesos tienen aditivos, para los cuales este valor es cero.

Toneladas de C en los aditivos = toneladas brutas de materia prima x %Carbono en los aditivos.

La suma de las toneladas de carbonato y carbono que contienen los aditivos en la entrada del proceso durante el período de notificación da lugar a una incertidumbre permisible máxima inferior: de $\pm 2,5$ % nivel 1, de ± 1 % nivel 2, para el proceso de medición.

Factor de emisión carbonatos: Nivel 1 obtenido de las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. (Véase anexo XI).

Factor de emisión Aditivos: el procedimiento específico para determinar el factor de emisión específico de la actividad incluyendo el procedimiento de muestreo basado en las normas CEN, y si no están disponibles se aplicaran normas ISO.

Factor de Conversión: es siempre 1 ya que todo el carbono se transforma.

A continuación se muestra un ejemplo con una de las instalaciones estudiadas, Instalación 1: Hermanos Díaz Redondo, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista.

Emisiones combustión en Secadero y Horno.				
Tipo de Combustible:	Gas natural			
		Unidades	Datos	Nivel aplicado
	Combustible consumido (t o m3)	Nm3	5.784.912,21	3a
	Valor calorífico neto (TJ/t o TJ/m3) ³¹	TJ/Nm3	0,00003879	2
	Datos de actividad	TJ	224,40	
	Factor de emisión ³²	t CO2/TJ	56,00	2a
	Factor de oxidación		1	1
	Total de emisiones	t CO ₂	12.566,22	

Tabla 13 [28]: Emisiones de combustión en secadero y horno, de la instalación 1.

³¹ Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. años 1990-2011. Ver anexo X

³² Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. años 1990-2011. Ver anexo X

Emisiones de combustión por Cogeneración.				
Tipo de Combustible:				
		Unidades	Datos	Nivel aplicado
	Combustible consumido (t o m3)	Nm3	1.165.983,50	3a
	Valor calorífico neto (TJ/t o TJ/m3)	TJ/Nm3	0,00003879	2
	Datos de actividad	TJ	45,23	
	Factor de emisión	t CO2/TJ	56,00	2a
	Factor de oxidación		1	1
	Total de emisiones	t CO ₂	2.532,80	

Tabla 14 [29]: Emisiones de combustión por cogeneración, de la instalación 1.

Emisiones de Proceso				
Actividad 1	Epígrafe 8, del anexo I, de la Ley 1/2005 "Instalación para la fabricación de productos cerámicos mediante horneado, en particular de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas, con una capacidad de producción de más de 75 toneladas por día, y una capacidad de horneado de más de 4 m3 y de más de 300 kg/m3 de densidad de carga de horno.			
Descripción de la actividad	Fabricación de material cerámico, haciendo pasar la materia prima por cada una de las siguientes fases: Preparación de tierras, amasado, moldeo, secado y cocción.			
Tipo de Proceso	HORNO DE COCCION DE MATERIAL CERÁMICO			
Método de cálculo usado	MÉTODO DE LOS CARBONATOS			
		Unidades	Datos	Nivel aplicado
	Total datos de actividad (tm de carbonatos)	tm	20.398,09	2
	Factor de emisión³³	t CO ₂ /t	0,44	1
	Factor de conversión		1	1
	Total de emisiones	t CO ₂	8.975,16	

Tabla 15 [30]: Emisiones de proceso, de la instalación 1.

³³ Obtenido de las Directrices del IPCC de 1996, para los Inventarios Nacionales de Gases de efecto invernadero. Ver anexo XI.

Resumen de emisiones anuales	
	tCO₂
Emisiones combustión secadero y horno	12,566,22
Emisiones combustión cogeneración	2,532,80
Emisiones de proceso	8,975,16
Emisiones totales anuales en la instalación 1.	24.074,2

Tabla 16 [31]: Resumen de emisiones de la instalación 1.

El Ladrillo

Un ladrillo es una pieza cerámica, que se emplea en la construcción, cuyas dimensiones permiten que se pueda manejar con soltura por con una sola mano.

4.1. Geometría y tipos de ladrillos

Su forma es la de un prisma rectangular, en el que sus diferentes dimensiones reciben el nombre de *soga*(1), *tizón*(3) *grueso*(2), siendo la *soga* su dimensión mayor. Así mismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de *tabla*(4), *canto*(6) y *testa*(7), la *tabla* es la mayor). Por lo general, la *soga* es del doble de longitud que el *tizón* o, más exactamente, dos tizones más una junta, lo que permite combinarlos libremente. El *grueso*, por el contrario, puede no estar modulado.

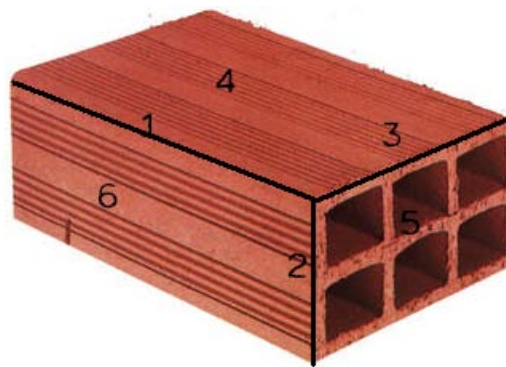


Figura 6: Forma y nomenclatura de un ladrillo.

Existen diferentes formatos de ladrillo, por lo general son de un tamaño que permita manejarlo con una mano. En particular, destacan el formato *métrico*, en el que las dimensiones son 24 x 11,5 x 5,25 / 7 / 3,5 cm (cada dimensión es dos veces la

inmediatamente menor, más 1 cm de junta) y el formato *catalán* de dimensiones 29 x 14 x 5,2 / 7,5 / 6 cm, y los más normalizados que miden 25 x 12 x 5 cm.

Actualmente también se utilizan por su gran demanda, dado su reducido coste en obra, medidas de 50 x 24 x 5 cm.

Sus tipos son:

-Ladrillo perforado: que son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10% de la superficie de la misma. Se utilizan en la ejecución de fachadas de ladrillo.

-Ladrillo macizo: aquellos con menos de un 10% de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.

-Ladrillo tejar o manual: simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas.

-Ladrillo aplantillado: aquel que tiene un perfil curvo.

-Ladrillo hueco: son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa que reducen el peso y el volumen del material empleado en ellos, facilitando su corte y manejo. Aquellos que poseen orificios horizontales son utilizados para tabiquería que no vaya a soportar grandes cargas. Pueden ser de varios tipos:

-Rasilla: su soga y tizón son mucho mayores que su grueso. En España, sus dimensiones más habituales son 24 x 11,5 x 2,5 cm.

-Ladrillo hueco simple: posee una hilera de perforaciones en la testa.

-Ladrillo hueco doble: con dos hileras de perforaciones en la testa.

-Ladrillo hueco triple: posee tres hileras de perforaciones en la testa.

-Ladrillo caravista: son aquellos que se utilizan en exteriores con un acabado especial.

-Ladrillo refractario: se coloca en lugares donde debe soportar altas temperaturas, como hornos o chimeneas.

4.2 Proceso de fabricación

En la actualidad las fábricas de producción de ladrillos se sitúan frecuentemente en los alrededores de los depósitos de arcilla o zonas de extracción de arena, minimizando de esa manera el gasto de energía empleado en el transporte del material a la fábrica.



Figura 7 [32]: Ubicación de la Oliva, fábrica de ladrillos, en Pantoja, Toledo.

Dichas fábricas cuentan con un alto grado tecnológico de equipamientos con el cual se desarrollan una serie de etapas planeadas y programadas técnicamente que comprenden desde la elección de la materia prima hasta el proceso de empaquetado final.

A continuación se va a mostrar una exposición detallada del proceso de fabricación de ladrillos, etapa por etapa. Cada etapa lleva asociado la definición del proceso y la tecnología utilizada.

Etapas 1: Extracción de materias primas

Para entender mejor esta primera etapa se debe definir antes la materia prima utilizada, sus distintos componentes y tipos.

La arcilla es la materia prima utilizada para la producción de ladrillos, este material es un producto de la descomposición de rocas sedimentarias, por lo que su variedad es muy amplia. Para rocas sedimentarias in situ, arcillas puras, y para rocas sedimentarias de arrastre³⁴, arcillas impuras.

³⁴ Las rocas sedimentarias de arrastre, son las que se han producido como consecuencia de fenómenos de alteración, transporte y sedimentación sobre cualquier tipo de roca anterior.

Composición de la arcilla:

-Sílice (SiO_2): Entre el 50%-60%. Permite al ladrillo mantener su forma y le da durabilidad, previene la retracción³⁵ del ladrillo. Un exceso de sílice produce un ladrillo frágil y débil al calor. Una cantidad elevada de arena o una sílice no combinada no es deseable. Pero se añade para disminuir la refractariedad³⁶ de la arcilla baja en alúmina.

-Alúmina (Al_2O_3): Entre 20%-30%, absorbe agua y da plasticidad a la arcilla. Si hay exceso se producen fisuras en el ladrillo al cocer. Arcillas con alto contenido de alúmina son muy refractarias.

-Carbonatos (Ca y Mn): Normalmente menos del 10%, reducen la retracción por secado, producen que se funda la sílice de la arcilla y ayuda a la adherencia en forma carbonatada, reducen la temperatura de fusión, en exceso producen que el ladrillo se funda y pierda su forma.

-Óxido de hierro (FeO): Normalmente menos de 7%, le da el color rojo, en exceso podrá pasar a ser de color azul, mejora la impermeabilidad y durabilidad, tiende a bajar la temperatura de fusión de la arcilla, le da resistencia y dureza.

- Impurezas: Entre 3%-5%, son elementos dañinos.

-Agua: Menos del 1%.

Tipos de arcilla:

Se dan dos tipos de arcillas, en el proceso de fabricación de ladrillos, estos son:

-Arcillas Magras:

-Tienen del 10% al 20 % de alúmina.

-Son las que contienen una excesiva cantidad de arena.

-Se secan con mayor rapidez, se contraen menos y se funden a menor temperatura que las grasas. Los productos resultantes de esta arcilla son productos porosos y quebradizos.

Arcillas Grasas:

Tienen del 25% al 40 % de alúmina.

Tienen escasez de arena, se contraen mucho y tienen un alto grado de plasticidad.

Los productos resultantes son grasos al tacto.

³⁵ La retracción se produce debido a los distintos coeficientes del mortero y ladrillos, llegando a producir grietas en el ladrillo.

³⁶ Todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones.

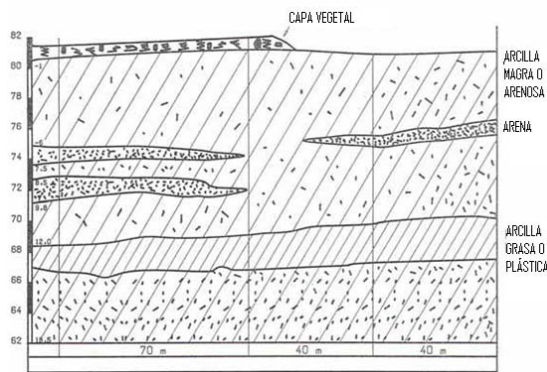


Figura 8 [33]: Representación esquemática de un yacimiento de arcilla transportada.

Debajo de una capa vegetal de 1 metro aproximadamente, aparece una arcilla magra, entre los 6 metros y los 9,8 metros, se observan grandes bolsas de arena, entre los 12 metros y 14 metros, aparece una capa de arcilla grasa, por debajo de esta capa se presenta un estrato de arcilla magra.

Después de definir la arcilla, su composición y sus tipos, se define la etapa de extracción.

Proceso

Se realiza en canteras, bajo estrictos controles de seguridad y respeto medioambiental, utilizando maquinaria pesada para su extracción y transporte a la planta de producción. Una vez explotadas las canteras, estas se regeneran para diferentes usos, preferentemente agrícolas, o forestales.

Tecnología asociada

La tecnología empleada para el proceso de extracción es la siguiente:

-Barrenadora: encargada de perforar el terreno mediante la acción combinada de la percusión, rotación, empuje y barrido.

-Retroexcavadora: su función es la excavación y desmonte del terreno, mediante una cuchara de ataque acoplada a una superestructura giratoria en el plano horizontal.

-Camión Dumper: destinado al transporte de arcilla desde la cantera de extracción hasta la zona de homogenización, está provisto de una caja tolva o volquete basculante, para efectuar la descarga.



Figura 9 [34]: Cantera de arcilla en Pantoja, Toledo.

Etapas 2: Homogenización y envejecimiento

La calidad de un producto cerámico depende del grado de preparación de las arcillas utilizadas en su elaboración. La irregularidad en la composición de la materia prima procedente de los yacimientos arcillosos, es la causa más frecuente de los problemas que se presentan durante el proceso de fabricación de ladrillos, y de la falta de constancia en la calidad del producto final. Por este motivo es fundamental la realización de un proceso de homogenización y envejecimiento, dado que de poco sirve el ajustar los sistemas de dosificación en el interior de la instalación si los componentes de la mezcla experimentan continuas variaciones.

- Homogenización.

Proceso

Esta etapa se lleva a cabo en lechos de homogenización, son depósitos situados a pie de planta, donde se introduce el material a homogenizar en forma de capas horizontales con un espesor entre 0,5 m a 0,75 m por capa. Una vez depositada cada capa se riega si es necesario, pero sin llegar a inundarse.

Los lechos de homogenización tienen una altura que oscila entre los 5 y 8 m, y una anchura que va desde los 5 a 25 m.

Si el terreno sobre el cual se asienta el lecho de homogenización no es de la misma composición que la arcilla y contiene partículas nocivas, CaCO_3 susceptibles de producir un elevado número de emisiones de CO_2 , será necesario proceder a su vaciado hasta una profundidad de unos 50cm como mínimo, y rellenarlo con arcilla pisada.

De esta forma, aunque la pala arranque parte de la suela sobre la que se asienta el lecho de homogenización, no habrá peligro de contaminaciones.

El terreno de asiento, y la capa superficial de recubrimiento del lecho debe presentar una pendiente de, un 2% ó 3%, para permitir la evacuación del agua de lluvia. Estas precauciones no son necesarias si el lecho se construye bajo cubierta.

Para lograr la homogenización deseada es necesario que dentro de cada capa se presenten el mínimo número de variaciones entre arcillas, para controlar este dato periódicamente mientras se va depositando el material en una capa, se hace de 4 a 6 toma de muestras y se envía al laboratorio para su análisis.

Los parámetros que el laboratorio controla en estas muestras pueden variar según el tipo de producto a fabricar. Lo más frecuente es que se establezca un control granulométrico, para lo cual se toman 100 gramos de arcilla seca y se lavan sucesivamente sobre los tamices³⁷ de 2 mm; 0,2 mm y 0,05 mm. Sobre una muestra aparte, por sedimentación³⁸ pueden determinarse los porcentajes de partículas inferiores a 0,5 micras,³⁹ 2 micras y 20 micras.

A continuación, con cada muestra se hace una prueba de extrusión, determinándose el porcentaje de humedad de moldeo, la contracción de secado, la resistencia mecánica en seco, la contracción de cocción a la temperatura prevista, la resistencia y absorción del producto cocido. Con estos resultados se podrá saber si las variaciones se sitúan dentro de los límites permitidos para el tipo de producto que se pretende fabricar.

Dicho estudio se realiza capa por capa. Teniendo la composición media de cada capa y conociendo el porcentaje que representa en el conjunto del lecho, se podrán obtener fácilmente los valores medios de los parámetros estudiados para el conjunto del lecho de homogenización.



Figura 10 [35]: Lecho de homogenización.

Antes de comenzar a gastar arcilla de un lecho de homogenización, se comparan dichos resultados con los correspondientes al lecho que en ese momento se está gastando, para conocer las modificaciones que será preciso introducir en el momento en que se comience a utilizar el nuevo lecho.

³⁷ Utensilio de laboratorio, que se utiliza para separa los distintos granos de un material sólido, hay varias medidas.

³⁸ La sedimentación es el proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita.

³⁹ El micrómetro o micra es una unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro. Su símbolo científico es μm .

El grado de homogenización o mezcla que se logra en los lechos depende básicamente del número de capas; cuanto mayor sea éste, más alta será también la uniformidad lograda. Por lo tanto, cuando más irregular se presente la materia prima en cantera, mayor número de capas será preciso efectuar, porque las variaciones que en un momento determinado pudiera presentar una capa quedan diluidas entre las restantes.

Tecnología asociada.

La extracción de la arcilla del lecho de homogenización se realiza atacando transversalmente a los estratos con una pala cargadora y mezclando las diferentes capas. De esta forma se abre un frente vertical que permite recoger en cada palada parte de cada capa.

- Envejecimiento

En lecho de homogenización

El proceso de envejecimiento se realiza en el lecho de homogenización cuando la producción se realiza por vía húmeda. El objetivo de envejecer las arcillas en los lechos de homogenización, es aumentar la plasticidad de las mismas, ya que esto provoca una mejor resistencia en seco, mediante la disgregación y el envejecimiento de los terrones de arcilla. Este aumento de la plasticidad se consigue gracias a la unión entre las partícula de agua y arcilla produciéndose un aumento de su cohesión.

Durante el envejecimiento se produce, al menos en parte, la oxidación de la sustancia orgánica y de las piritas eventualmente presentes en la arcilla. Esta oxidación puede dar lugar a una elevación apreciable de la temperatura del lecho, aumentando la movilidad del agua.

-En el pudridero

En el caso de la producción por vía seca (las arcillas entran en el proceso de molienda seca.) el envejecimiento se realiza en el pudridero, de donde la materia debe salir con una cantidad de agua aproximada a la que se empleara en el posterior amasado y moldeo.



Figura 11 [36]: Pudridero, de cerámicas el paraíso.

Etapa 3: Desmenuzado

Proceso

Esta etapa se da en el interior de la planta, con material proveniente del proceso de homogenización y envejecimiento.

Con el desmenuzado se consigue una subdivisión del material que permite su posterior utilización sin problemas en los dosificadores y en los molinos propiamente dichos, y se separan las raíces, piedras y hojas. Utilizándose, según sea su dureza y humedad, machacadoras de mandíbulas y desmenuzadores. Se puede decir que es una etapa de molienda primaria.

Tecnología asociada.

Machacadores de mandíbulas: Se utilizan para triturar material semi-duro hasta muy duro. Tienen una mandíbula fija y una móvil que, juntas, forman un espacio de machaqueo cuneiforme que sirve de elemento de desgaste. El brazo oscilante móvil circula con una trayectoria elíptica y varía la geometría del espacio de machaqueo, con el resultado que el material se rompe entre las mandíbulas.



Figura 12 [37]: Machacador de mandíbulas.

Desmenuzadores: Trituran material semi-duro. Constan de dos cilindros rotatorios que giran en sentido inverso a distinta velocidad. Llevan unos discos de acero provistos de cuchillas o dientes que desarrollan un trabajo de aplastamiento y desgarre de la arcilla. Entre los discos existen unas ranuras en las cuales se introducen los dientes del cilindro opuesto.



Figura 12 [38]: Desmenuzador.

Etapas 4: Molienda

El proceso de molienda de arcilla consiste en la adecuación de la granulometría de la misma, tanto en distribución granulométrica como en tamaño máximo. Puede llevarse a cabo de dos formas diferentes, por vía semi-húmeda y vía seca.

- Vía semi-húmeda

Proceso

Cuando se trabaja por vía semi-húmeda, el proceso de humectación de la arcilla puede comenzar desde el mismo lecho de homogenización, dando tiempo al agua para situarse sobre el cristal arcilloso en las posiciones más estables gracias a los procesos de evaporación y condensación de humedad que allí tienen lugar. En estas condiciones el agua queda fuertemente ligada al cristal arcilloso, todo lo cual da como resultado un aumento de la plasticidad de la masa arcillosa, así como de su resistencia a las tensiones⁴⁰ de secado.

Ventajas respecto a la vía seca:

- Se pueden procesar arcillas tanto secas como húmedas.
- Requiere un menor mantenimiento.
- Se obtiene una granulometría más granada, lo cual reduce los problemas de secado y de cocción.
- La pieza cocida es más porosa y más resistente al impacto.

Tecnología asociada:

En cuanto al número de molinos a través de los cuales debe pasar la arcilla durante el proceso de preparación, depende de la granulometría de entrada y de salida requerida, es decir, de la relación de reducción de tamaño buscada o ratio.

La experiencia ha demostrado que cada máquina trabaja en óptimas condiciones con una relación o ratio de reducción determinada, pasada la cual se pierde rendimiento.

Desintegrador: El ratio óptimo se sitúa entre 4 y 5, o sea que el tamaño de entrada no debería ser superior a 4 ó 5 veces el de salida. Los desintegradores son máquinas para la trituración de arcillas secas o semi-húmedas, se utilizan en lugar del molino de rulos cuando la arcilla no contiene piedras. Van equipados con dos cilindros, uno liso y de gran diámetro que gira a poca velocidad y otro de diámetro menor provisto de cuchillas cambiables que giran a gran velocidad.

⁴⁰ Roturas del ladrillo en el proceso de secado.



Figura 12 [39]: Desintegrador.

Molino de rulos: El ratio óptimo es 20. El molino de rulos es la máquina más universal, pues permite moler y mezclar toda clase de arcillas, sobre todo las más duras o aquellas que contienen piedras y nódulos⁴¹, tiene mayor rendimiento para la vía semi-húmeda, la calidad de los barros obtenidos con un molino de rulos difícilmente se consigue con otro tipo de molino. Ofrece mayor uniformidad de molienda junto con un mejoramiento de los efectos de la homogenización.



Figura 12 [40]: Molino de rulos.

Laminador: Su ratio óptimo es 25. Los laminadores determinan el grado de molienda final de la arcilla húmeda, pudiéndose afirmar que la calidad del material que se está fabricando, depende de la potencia y estado de conservación del laminador.

Los cilindros del laminador trabajan a distinta velocidad para evitar un consumo excesivo de energía en relación al trabajo que deben desarrollar.

⁴¹ Impureza de contienen las arcillas.



Figura13 [41]: Laminador.

Los laminadores, aunque trabajan con material húmedo, producen polvo ya que los cilindros se calientan a consecuencia del rozamiento con la arcilla y las rasquetas. Es necesario colocar sobre el laminador un sistema de captación de polvo.

- Vía seca.

Proceso

Las arcillas duras y secas como los esquistos, se preparan mejor en instalaciones por vía seca. Este sistema asegura la obtención de un porcentaje importante de partículas finas que se humectan con más facilidad y rapidez, obteniéndose una masa muy homogénea y de mayor plasticidad; todo lo cual se traduce en un mejor acabado y una mayor resistencia mecánica, tanto del material seco como del producto cocido. A este proceso se le denomina también molturación fina.

Particularmente, cuando la arcilla contiene impurezas extrañas tales como caliza, yeso, piritas, carbón, entonces se precisa una molturación muy fina.

Ventajas respecto a la vía semi-húmeda:

-Para la misma cantidad de arcilla, la vía seca proporciona un 82% de partículas inferiores a 0,5 mm, mientras que la vía semi-húmeda se proporciona un 28%. Las piezas obtenidas por vía seca tienen una resistencia aproximadamente del doble que la obtenida con la granulometría más gruesa, una absorción sensiblemente más baja, una mayor densidad y un mejor acabado.

-Obtiene un mayor grado de finura para los productos de cara vista.

Tecnología asociada

Desmenuzador: visto en la etapa de desmenuzado.

Mala molturación:

Cualquiera que sea la vía de molturación utilizada, nunca deberán existir en una masa arcillosa lista para el moldeo, partículas superiores a los 2 mm, puesto que estas inciden muy negativamente sobre el acabado superficial y la resistencia mecánica del producto cocido, pudiendo dar lugar a la aparición de micro fisuras en la superficie de la pieza denominadas patas de araña.

Si la arcilla contiene piritas (sulfuro de hierro, FeS) y no se logra una buena molturación, en cocción pueden dar lugar descascarillados producidos por los gases (SO₂) que se desprenden durante su oxidación entre los 400°C y 500°C. Estos descascarillados aparecen ya en el material a la salida del horno y, en el centro de los mismos, se aprecia la piritita oxidada de color marrón o negro grisáceo según la temperatura de cocción y atmósfera del horno.

Etapas 5: Amasado

Proceso

El amasado consiste en la preparación última de la pasta cerámica, durante la cual se ajusta la humedad y se asegura una homogeneidad adecuada. La arcilla debe estar lo bastante húmeda (entre valores de 12 a 15% de humedad) para que se pueda mantener unida cuando se trabaja con ella. En el amasado se regula el contenido de agua de la mezcla de la arcilla mediante la adición de agua o vapor. Una vez obtenido una pasta arcillosa homogénea, se pasa a la siguiente etapa moldeo.

Tecnología asociada

Para el amasado de la arcilla, en las fábricas se utiliza una amasadora extrusora, máquina especialmente diseñada para la homogeneización de una mezcla de arcilla y la incorporación de más agua o de colorantes y aditivos.

Amasadora: Está compuesta por un bastidor auto portante, la cuba de amase y las palas. Las palas al girar, hacen que la arcilla juntamente con el agua y los aditivos formen una pasta homogénea con la plasticidad necesaria.



Figura 14 [42]: Amasadora

Etapas 6: Moldeo

Proceso

Aunque los costes de preparación y moldeo de la materia prima en una fábrica de ladrillos giran en torno al 3% y 4%, de los costes totales de elaboración del producto, sin embargo si estas operaciones no se desarrollan correctamente, pueden dar lugar a un incremento notable de los costes de las fases más caras del proceso productivo, como son el secado y la cocción.

El moldeo de ladrillos se realiza por extrusión, la pasta de arcilla humectada se hace pasar a través de un molde perforado empujado por una hélice giratoria.

Es importante controlar la plasticidad de la arcilla para lograr mantener la velocidad de extrusión constante y en paralelo, de las columnas de barro a través del molde.

La arcilla extruida adquiere el perfil de la boquilla incorporada, pudiéndose modificar en función del tipo de pieza a producir. Debido a la extrusión se da una mayor absorción del agua por la arcilla, obteniéndose una pasta muy homogénea. El barro es menos pegajoso y se almacena con menores problemas.

La extrusión consiste en el moldeo de la pasta cerámica, es decir, es la etapa del proceso durante la cual se da la forma definitiva a la pieza. Generalmente se efectúa con vacío para mejorar la cohesión entre las distintas partículas de la pasta arcillosa, evitándose en gran medida defectos graves.

Es importante controlar la plasticidad de la arcilla para lograr mantener la velocidad de extrusión constante y en paralelo, de las columnas de barro a través del molde.

Tecnología asociada

Para este proceso se utiliza la extrusora de hélice, máquina diseñada para el moldeo de los ladrillos. Consta de dos zonas, por un lado una zona de vacío provista de puertas laterales y por otro las palas de introducción del barro, y la zona de moldeo que está formada por una hélice, provista de un molde que produce el bizcocho o masa de barro con la forma deseada.

El sistema de hélice trabaja con vacío, consiguiendo una perfecta homogenización de la pasta, ya que la mayor parte del barro que llega al final de la hélice (entre 50% y el 85%) retrocede por el mismo canal, produciendo así un efecto homogenizado en la pasta arcillosa.



Figura 15[43]: Extrusora de hélice.

Etapas 7: Cortado

Proceso

Este proceso se lleva a cabo en la salida de la extrusora, es el encargado de cortar los ladrillos a las medidas deseadas.

Tecnología asociada

Carro cortador, formado por hilos metálicos los cuales seccionan el bloque arcilloso a las medidas deseadas de los ladrillos.



Figura 16 [44]: Carro cortador.

Etapas 8: Secado

Proceso

El objetivo del secado es la reducción de humedad de la pieza antes de su cocción, mediante la eliminación del agua que se ha utilizado para efectuar el moldeo de la pieza. Es una de las fases más delicadas del proceso de producción puesto que un mal secado de las piezas puede llevar a la no validez de las mismas, depende de varios factores: naturaleza de la arcilla, grado de preparación, homogenización y tensiones que pueden haber tenido lugar durante el moldeo.

El secado se puede desarrollar de forma natural o artificial.

Secado natural, el material es colocado en cobertizos o a la intemperie donde disminuye su contenido de humedad hasta su nivel óptimo antes de entrar en el horno. En la actualidad se está eliminando esta manera por ser menos eficiente energéticamente.

Secado artificial, se lleva a cabo en secaderos con forma de túnel o también denominados secadero continuos, con capacidad para 100.000 unidades, emplea fuentes de calor de distintos orígenes: reciben calor recuperado de la zona de enfriamiento del horno, de gases de escape procedentes del motor de cogeneración, y en último caso, si no se alcanzara la temperatura deseada, dispone de un quemador de vena de aire. El secado se realiza mediante la recirculación de grandes cantidades de aire caliente insuflado entre (90°C y 110 °C) seco, iniciando el proceso con una temperatura baja y aumentándola progresivamente para evitar el choque térmico, hasta bajar el porcentaje de humedad de las piezas hasta un 2%. Tiene una duración entre 24 y 48 horas dependiendo del tipo de ladrillo.

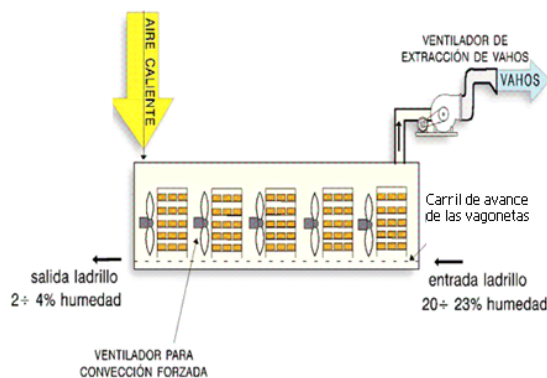


Figura 17 [45]: Esquema de un secadero de ladrillos.

El proceso de secado se divide en dos fases:

Primera fase: el aire arrastra las moléculas de agua libre situadas en la superficie de la pieza. Este arrastre da lugar a un movimiento ascendente o flujo de agua libre hasta la superficie, que se evapora a la atmósfera. Se realiza a una evaporación constante durante las dos primeras horas y media de secado, que es cuando deja de a ver agua libre en la superficie de la pieza, y se llega al punto crítico del proceso.

Segunda fase: Se produce en el interior de la pieza, comienza la evaporación del agua ligada eléctricamente a la superficie de las partículas arcillosas, siendo tanto más difícil dicha evaporación cuanto más cerca se encuentren las moléculas de agua de la superficie del cristal arcilloso; de ahí, que a medida que avanza el secado, el rendimiento se reduce exponencialmente. Durante la segunda fase del secado, el agua no se evapora en la superficie de la pieza sino en el interior de los capilares, en el mismo punto en que se encuentra ligada a la partícula arcillosa.

Del proceso de secado los ladrillos pasan directamente al horno, sin ser desmontados de las vagonetas transportadoras.

Tecnología asociada

Sistema de conducción de calor, para la introducción de aire caliente procedente de horno zona de enfriamiento del horno.

Sistema de movimiento del aire: consistente en ventiladores de diferentes tamaños y potencias que mueven el aire de forma que éste discurra por todo el recinto de la manera más homogénea posible.

Apiladora-desapiladora de vagonetas, se trata de una máquina diseñada para la descarga de las carretillas procedentes del secadero y formación de paquetes de material cerámico sobre las vagonetas que se introducirán en el horno.

Etapa 9: Cocción

Proceso

La cocción es la fase más importante y delicada del proceso de fabricación de ladrillos, en este proceso se confiere a la pieza las propiedades deseadas, al mismo tiempo que se muestra si las etapas precedentes (amasado, moldeo y secado) se han llevado a cabo correctamente o no. Las piezas se cuecen en hornos tipo túnel o continuos, a una temperatura que va desde los 100°C hasta los 1230°C, pasando por distintas zonas.

Tecnología asociada

Dicho proceso de cocción se lleva a cabo en hornos tipo túnel, son hornos dispuestos en forma de un largo canal de medidas 90,5 largo x 4,5 ancho x 1,75 alto, por el que se empuja un tren de vagonetas sobre rieles, donde va el material depositado y pasa por las distintas zonas en la etapa de cocción.

El almacén inferior de las vagonetas está protegido por un grueso revestimiento de material aislante y refractario, para proteger las ruedas contra el calor, se puede impulsar aire frío debajo de las vagonetas, a lo largo de los rieles y las ruedas. Las vagonetas están ajustadas unas a otras, sin espacios libres intermedios.

Dentro del horno se distinguen tres zonas diferenciadas, cada una de ellas encargada de una parte de la cocción, estas son: zona de precalentamiento, zona de cocción y zona de enfriamiento.

Zona de precalentamiento: en esta zona existe una corriente de aire caliente procedente de la zona de cocción, con temperaturas mayores a los productos de entrada procedentes del secadero, con el fin de evitar el exceso de choques térmicos, que circula en sentido contrario al material, para que el material pierda su contenido en agua (tanto la absorbida superficialmente como la estructural) aumentando la temperatura de manera progresiva desde los 100 °C a los 1000 °C.

Zona de cocción: esta zona está compuesta por quemadores en vena de aire ⁴² (dependiendo del horno tendrá más o menos cantidad de quemadores por lo general son 30), de combustible (gas natural), distribuidos en las paredes del horno (15 quemadores a cada lado), se ocupan de conseguir la curva de cocción óptima en la parte central del horno. Se llega hasta una temperatura de 1230°C.

Zona de enfriamiento: en esta zona el material se somete a un enfriamiento progresivo desde 1230°C hasta 100°C, conocido como enfriamiento rápido, se introducen gases desde la zona de cocción mediante mangas de enfriamiento para conseguir la temperatura adecuada. Estos gases extraídos pueden enviarse al secadero o

⁴² El quemador de vena de aire, es un dispositivo utilizado en la etapa de secado y horneado, tienen unas potencias de 30.000Kcal/h, en adelante. Su velocidad de aire es de 30m/s.

a la atmósfera. El objetivo es evitar grietas en las piezas por un contraste brusco de la temperatura, hasta que alcanzan la temperatura deseada 100°C. En las zonas más frías del enfriamiento en ocasiones puede interesar acelerar el enfriamiento y se colocan sopladores de aire.

Mediante un software de control del horno se establece una curva de temperatura en cada zona de funcionamiento, regulando el caudal de calor, que se mide con unos termopares situados por las tres zonas, mediante la temperatura de consigna.⁴³

En relación a tiempos de funcionamiento de cada etapa, se considera un tercio del tiempo precalentamiento, otro tercio para cocción y otro tercio para enfriamiento. La velocidad de horno, hoy día puede oscilar entre los 20 y los 30 vagones/día, anteriormente se daban velocidades entre los 50 a los 70 vagones/día.

En la siguiente figura se muestra la curva de temperatura en la etapa de cocción.

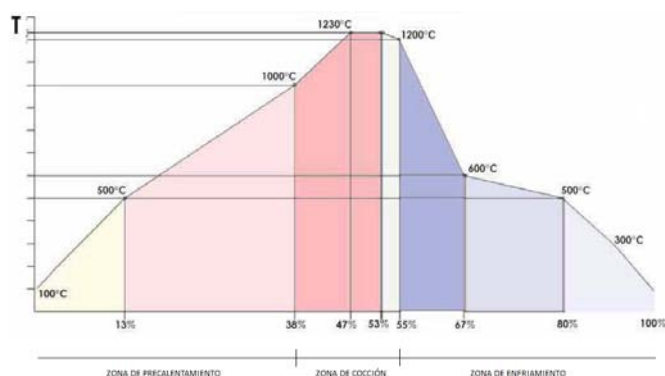


Figura 18[46]: Diagrama de temperaturas del proceso de cocción en ladrillos.

En las dos primeras zonas es donde se define el producto, debido a que en la zona de precalentamiento el producto puede romperse si la temperatura de la misma no es muy elevada. En la zona de cocción las piezas obtienen su calidad. En la zona de enfriamiento es donde menos fallos se producen, por esta razón se consideran como zonas críticas del horno a las dos primeras.

A continuación se muestra un esquema de un horno tipo túnel

⁴³ Temperatura de consigna: En un sistema de regulación automático de temperatura, la temperatura de consigna es la que se desea que se mantenga en una zona determinada.

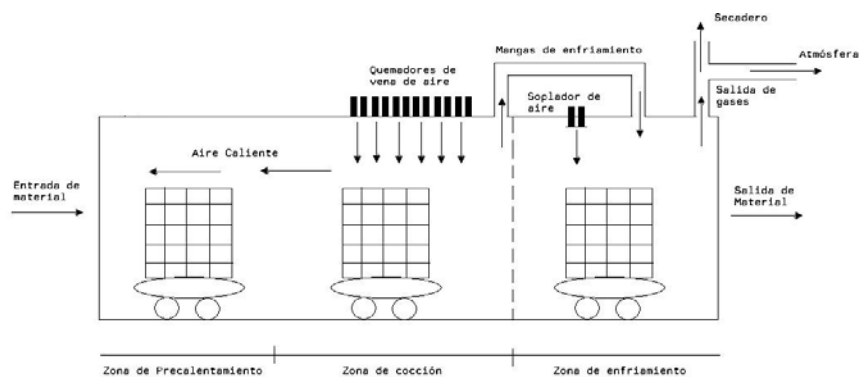


Figura 19 [47]: Esquema de un horno túnel.

Etapas 10: Preparación y almacenamiento del producto

Proceso

Una vez acabada la etapa de cocción, las piezas ya terminadas, se depositan apiladas encima de palés de madera, dichos palés contiene aproximadamente entre 300 y 500 unidades de ladrillos dependiendo del tipo de ladrillo fabricado. A continuación se empaquetan los palés colocándoles alrededor un plástico retráctil y fleje en todas direcciones, se le hace pasar por una cámara donde se le aplica calor al palé y se contrae el plástico con el que se han envuelto, quedando totalmente sujetas las piezas.

Posteriormente se introducen los palés empaquetados en piscinas llenas de agua, para hacer desaparecer el caliche,⁴⁴ este caliche no es perjudicial para las características mecánicas de los ladrillos, solo afecta al factor estético, ya que con el tiempo aparecen manchas blanquecinas en las fachadas.

Una vez eliminado el caliche, los palés son almacenados en naves cerradas o abiertas a la intemperie hasta que se han llevado a los puntos de venta.

Tecnología asociada

Carretilla todo terreno.

Procesos auxiliares:

Todo proceso de fabricación de ladrillos lleva consigo una serie de procesos auxiliares que complementan al proceso de elaboración del producto final. Los más usuales son:

Cogeneración.

⁴⁴ Caliche: son las sales solubles que no se han podido eliminar en el tiempo que las tierras estuvieron al aire libre.

En el sector ladrillero se utiliza la cogeneración con producción de aire caliente, mediante motores de cogeneración de combustión interna. Consiste en la producción simultánea de energía eléctrica en un 35%, (mediante la combustión del gas natural, en los pistones que mueven el cigüeñal que a su vez mueve un alternador, que convierte esa energía mecánica en energía eléctrica. Ésta energía eléctrica se exporta por completo a la red de la compañía eléctrica obteniéndose unos ingresos por su venta, y energía térmica útil en un 54% proveniente principalmente de los gases de escape, a unos 90 °C y 110 °C, que se utilizan para enviarlos a la etapa de secado en el proceso de fabricación de ladrillos, además mediante una caldera de vapor se puede producir vapor de agua que se utiliza en el extrusado (etapa 6).

Existe una segunda fuente de energía en forma de agua caliente, a unos 90°C, proveniente del circuito de refrigeración del motor, esto es de las camisas y del cuerpo del motor donde se están produciendo la combustión.

El sector cerámico es uno de los sectores clásicos de cogeneración, con una utilización energética intensiva sobre más de 8.000 horas funcionamiento/año de operación

En la siguiente figura se muestra el esquema de cogeneración

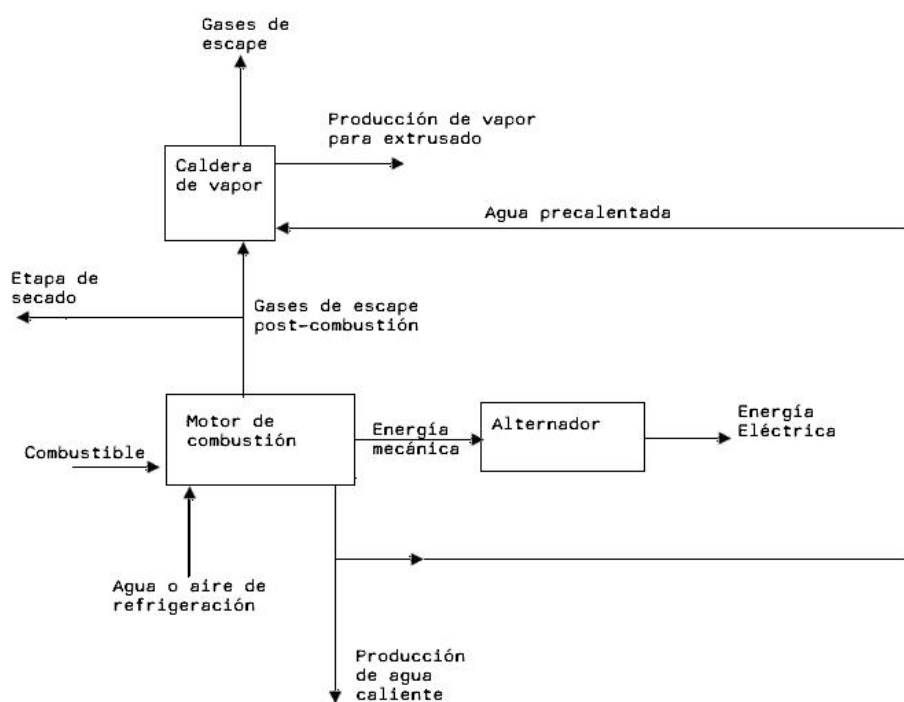


Figura 20 [48] Esquema de cogeneración.

Los sistemas de cogeneración no disminuyen el consumo de combustible para la misma generación de energía eléctrica, sino que su fin es aprovechar la potencialidad del mismo. De esta forma la energía química contenida en el combustible se aplica para

obtener energía eléctrica, además de obtener como subproducto la energía térmica necesaria.

La implantación de un sistema de cogeneración conlleva un incremento en el consumo global de combustible de la empresa, pero al obtener un rendimiento más elevado en el proceso, el balance global energético es favorable.

Transporte de materia prima dentro de la instalación

El transporte de las arcillas en el interior de la planta se realiza mediante cintas transportadoras que pueden ser de tres tipos, de acero, de goma o de escamas. Normalmente, las cintas de lámina de acero se utilizan en tramos horizontales y rectilíneos de largos recorridos. Para los tramos rectilíneos y de inclinación media se utilizan las cintas de goma debido a que el material transportado se adhiere mejor y no se producen desprendimientos. Por último, las cintas de escamas, de menor velocidad que las de goma, se utilizan para el transporte en curvaturas o pendientes elevadas.

Las arcillas muy plásticas y excesivamente húmedas pueden presentar problemas de adherencia en las cintas. La arcilla pegada se seca y no se desprende y por lo tanto, es muy importante la limpieza de las cintas después de la descarga.

4.3 Emisiones de GEI en el proceso de fabricación

Después del estudio del proceso de fabricación en el apartado anterior, y la aportación de emisiones reales de dos fábricas de ladrillos y una de teja, facilitada por el Grupo Hermanos Díaz Redondo, que está formado por varias empresas que ocupan puestos de liderazgo en el sector de la cerámica estructural en España. Sus principales productos son: ladrillo cara vista, teja cerámica, baldosa, piezas cerámicas a medida y bloque termoarcilla, situado en Cobeja (Toledo). Se observa que las emisiones de GEI en las etapas de producción de ladrillos y tejas se dividen en tres flujos:

- Emisiones de CO₂ por combustión

Emisiones de combustión: son las emisiones producidas durante la reacción exotérmica de combustión⁴⁵ entre el combustible y el comburente.⁴⁶

⁴⁵ Es aquella reacción química que libera energía calorífica hacia el medio que lo rodea conforme transcurre.

⁴⁶ Sustancia que en ciertas condiciones de temperatura y presión puede combinarse con un combustible, provocando la combustión.

Las emisiones de CO₂ por combustión, se producen por la combustión de gas natural en los quemadores de vena de aire situados en la zona de cocción del horno túnel y del secadero, también se dan por la combustión de gas natural en el motor de cogeneración situado en la planta.

- Emisiones de CO₂ de proceso

Las emisiones de CO₂ de proceso, se dan por la descomposición del CaCO₃, que tiene lugar en la etapa de cocción a partir de los 800 °C a los 850 °C.

A continuación se muestran las emisiones de CO₂ emitidas, expresadas en toneladas de CO₂ (tCO₂), por el Grupo Hermanos Díaz Redondo de tres de sus instalaciones, con sus respectivos porcentajes. Las emisiones son del año 2007, cuando las fábricas estaban operando a su producción nominal.

Instalación 1: Hermanos Díaz Redondo, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista. (HDR, S.A. LADRILLO CARA VISTA).

E. Combustión (tCO ₂)		E. Proceso (tCO ₂)	E. totales (tCO ₂)
Quemadores Horno y Secadero	Gases de escape del motor de cogeneración	Descomposición del CaCO ₃ en la cocción	
15.099		8.975	24.074
12.566	2.533		
52,20%	10,52 %		
62,72%		37,28%	100%

Tabla 16 [49]: Emisiones de CO₂, Hermanos Díaz Redondo, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista. (HDR, S.A. LADRILLO CARA VISTA).

Instalación 2: Industrias Cerámicas Díaz, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista. (ICD, S.A. LADRILLO CARA VISTA).

E. Combustión (tCO ₂)		E. Proceso (tCO ₂)	E. totales (tCO ₂)
Quemadores Horno y Secadero	Gases de escape del motor de cogeneración	Descomposición del CaCO ₃ en la cocción	
12.314		3.646	15.961
9.437	2.877		
59,13%	18,03%		
77,16%		22,4%	100%

Tabla 17[50]: Emisiones de CO₂, Industrias Cerámicas Díaz, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista. (ICD, S.A. LADRILLO CARA VISTA)

Instalación 3: Hermanos Díaz Redondo, S.A, instalación de fabricación de teja cerámica. (HDR, S.A. TEJA).

E. Combustión (tCO ₂)		E. Proceso (tCO ₂)	E. totales (tCO ₂)
Quemadores Horno y Secadero	Gases de escape del motor de cogeneración	Descomposición del CaCO ₃ en la cocción	
12.866		1.364	14.230
10.333	2.533		
72,61%	17,80%		
90,41%		9,59%	100%

Tabla 18[51]: Emisiones de CO₂, Hermanos Díaz Redondo, S.A, instalación de fabricación de teja cerámica. (HDR, S.A. TEJA).

A continuación se muestra una tabla con los valores promedio de t CO₂ anuales, y % emitidos para las tres instalaciones estudiadas.

Emisiones de CO ₂	Instalación 1 HDR, S.A. LADRILLO CARA VISTA.		Instalación 2 ICD, S.A. LADRILLO CARA VISTA		Instalación 3 HDR, S.A. TEJA		Promedio instalaciones ((1+2+3)/3)	
	tCO ₂	%	tCO ₂	%	tCO ₂	%	tCO ₂	%
E. Combustión	15.099	62,72	12.314	77,16	12.866	90,417	13.426,6	76,76
Horno/Secadero	12.566	52,20	9.437	59,13	10.333	2,61	10.778,6	61,31
M. Cogeneración	2.533	10,52	2.877	18,03	2.533	17,80	2.647,6	15,45
E. Proceso	8.975	37,28	3.646	22,4	1.364	9,59	4.661,6	23,9
E. Totales	24.074	100	15.961	100	14.230	100	18.088	100

Tabla 18 [52]: Resumen de las emisiones de CO₂ con sus respectivos % de las tres instalaciones.

Como se puede observar el principal foco de emisiones de CO₂ procede de las emisiones de combustión en las tres fábricas con un promedio de 13.426,6 tCO₂ anuales, que es un 76,76% del total promedio anual, repartido en 10.778,6 tCO₂ anuales (61,31%) para emisiones procedentes por la combustión de gas natural en los quemadores de vena de aire, en horno y secadero, 2.647,6 tCO₂ anuales (15,45%) por la combustión de gas natural en el motor de cogeneración. De estos datos apreciamos que el horno y secadero son los que más emisiones de CO₂ emiten en las tres fábricas.

Mientras tanto las emisiones de proceso suponen 4.661 tCO₂ anuales es un 23,9% del total promedio anual de las tres instalaciones, se puede observar que la contribución de las emisiones de HDR, S.A. Ladrillo cara vista, es mayor que en HDR, S.A. Teja, y ICD, S.A. Ladrillo cara vista. Esto es debido que la mayor parte de la producción contiene un elevado contenido en CaCO₃. En el caso de HDR, S.A. Teja, apenas se coció teja calcárea⁴⁷, por lo que las emisiones fueron menores. En ICD, S.A. Ladrillo cara vista, el 50% del producto es calcáreo y el otro 50% no.

Estos datos han sido verificados por un organismo externo a la empresa y validados por la Consejería de Medio Ambiente de Castilla la Mancha.

⁴⁷ Producto elaborado mediante una mezcla de agua, cal aglomerante grasa, y arena.

- Otras emisiones

Además del CO₂ producido, en el resto del proceso de fabricación de los ladrillos y tejas también se dan emisiones de otros gases y partículas, como son: Partículas PM₁₀, monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), Fluoruro de hidrógeno (HF), cloruro de hidrógeno (HCL), y metano (CH₄)

Partículas PM₁₀

Las PM₁₀ se pueden definir como aquellas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento ó polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2,5µm y 10µm⁴⁸. Las emisiones de partículas PM₁₀ está considerada como uno de los impactos ambientales más significativos en el proceso de fabricación después de las emisiones de CO₂, ya que se trata de un tipo de actividad industrial que procesa materiales de naturaleza pulverulenta.

Dichas partículas aparecen en las siguientes etapas;

- Extracción de arcillas, debido a la manipulación de la arcilla seca, en el proceso de transporte, carga y descarga de camiones.
- Homogenización, debido a la descarga de la arcilla seca en los lechos de homogenización.
- Desmenuzado, Molienda y Cortado, debido al paso de la arcilla por las diferentes máquinas desmenuzador, molino de rulos, laminador, etc.
- Trasporte de materia prima dentro de la instalación, durante el transporte de las arcillas dentro de la instalación puede existir la emisión de partículas PM10 al aire y desprendimientos de materia prima que podrán convertirse posteriormente en residuos.

Monóxido de carbono (CO)

Se genera por la combustión de gas natural, en los quemadores de vena de aire de secadero y horno, y también en el motor de cogeneración.

Dióxidos de nitrógeno (NO₂)

El NO₂ tiene unos niveles de emisión moderados, se da en la etapa de secado y cocción por la combustión de las moléculas de nitrógeno presentes en el gas natural utilizado como combustible, así como en la combustión del motor de cogeneración. La reacción, a la temperatura de combustión entre el nitrógeno y el aire se denomina NO₂ térmico.

Además también se da por la descomposición de los contenidos de óxido de nitrógeno que hay en la materia prima, su contenido es muy bajo.

⁴⁸ 1 micrómetro equivale a la milésima parte de 1 milímetro.

Dióxido de azufre (SO₂)

La formación del SO₂ es moderada, se genera principalmente por la oxidación ⁴⁹ del azufre contenido en el gas natural durante el proceso de combustión en el secado y cocción del material.

La utilización de arcillas, que introducen azufre en su composición a través de impurezas, básicamente pirita (FeS₂) y yeso (CaSO₄·2H₂O), que provocan emisiones de compuestos de azufre (SO_x), particularmente SO₂- SO₃, durante la etapa de cocción. La emisión de azufre en el proceso de cocción cerámico se produce en dos períodos, una primera se detecta alrededor de los 450 °C y se debe a la oxidación de pirita (FeS₂) y al azufre asociado a materia orgánica. La segunda emisión tiene lugar por encima de los 750 °C hasta el final del ciclo de cocción 1230 °C, en este caso se debe a la descomposición de los sulfatos (yeso).

La composición de las arcillas hace que una parte importante del SO₂ sea retenido por el producto final, sin que se produzca su emisión a la atmósfera en forma de contaminante gaseoso.

Fluoruro de hidrógeno (HF)

El HF se encuentra presente de forma moderada en las emisiones de la industria ladrillera, fundamentalmente en forma de compuestos gaseosos en la etapa de cocción. En general, en los hornos de cocción de productos cerámicos, se genera como consecuencia de la descomposición de minerales arcillosos que contienen impurezas de flúor en su estructura, a partir de temperaturas del orden de 400 °C a 600 °C.

Cloruro de hidrógeno (HCl)

La emisión de compuestos de cloro, son bajas, en el proceso de fabricación de ladrillos, se origina por la presencia del ión cloro, en el agua utilizada como materia prima. Estos niveles de cloro en dichas aguas pueden verse incrementados cuando el agua utilizada es agua industrial tratada, ya que es habitual que en el tratamiento de las mismas se adicione cloro como elemento desinfectante.

Por otra parte, las arcillas y aditivos utilizados contienen niveles de traza⁵⁰ de cloro, dando lugar a la descomposición de las sales minerales que contiene el cloro en la etapa de cocción cuando se llegan a temperaturas superiores a 850 °C.

Metano CH₄

Las emisiones de CH₄ son las más bajas de todo el proceso, se producen principalmente por la combustión del gas natural, en secadero, horno y motor de cogeneración.

⁴⁹ Proceso de una de combinación química con el oxígeno atmosférico para producir productos principales como el dióxido de azufre.

⁵⁰ Cantidad minúscula de una mezcla o sustancia.

En la siguiente tabla se muestra los valores medios de emisión en gramos de contaminantes en la fabricación de ladrillos y tejas, por kg de material producido.

Contaminante	Valor medio (g/Kg)	Valoración medioambiental
CO ₂	270	Muy alta
Partículas PM ₁₀	0,214	Alta
CO	0,189	Moderada
NO ₂	0,184	Moderada
SO ₂	0,0396	Baja
HF	0,0127	Baja
HCL	0,0041	Baja
CH ₄	0,0013	Muy Baja

Tabla 19 [53]: Valores medios de emisiones de contaminantes, medidos en España en el sector ladrillo y teja, año 2011.

4.4 Soluciones para reducción de las emisiones de GEI

Ahora se van a proponer una serie de medidas, para reducir los tres flujos de emisiones que se dan en el proceso de fabricación de ladrillos y tejas, visto en el punto anterior.

Para la estimación de cada una de las medidas que se van a citar, se ha efectuado su estudio en base a una serie de fábricas visitadas, Grupo la paloma cerámica y gres, S.L y Hermanos Díaz Redondo S.A, siendo dos de las mayores productoras del sector en Castilla la Mancha, extrapolando los resultados obtenidos al total de la producción del sector.

El potencial de reducción de las emisiones que se puede conseguir con cada medida depende de las características propias de cada factoría: capacidad de producción, combustible empleado, etc. Por ello los valores que se darán no son de inmediata aplicación a cualquier factoría, pero se pueden considerar lo suficientemente representativos.

Las medidas que se proponen en este Proyecto Final de Carrera son:

4.4.1. Sustitución parcial de gas natural por biogás

Sustitución parcial de gas natural por biogás como combustible para la combustión en secadero, horno y motor de cogeneración, sustituyendo un 70% de gas natural, por biogás. Estos equipos trabajan con una mezcla de 70% biogás, y 30% gas natural, como especifica el fabricante (Beralmar Tecnologic S.A Ingeniería y maquinaria para la industria cerámica estructural).

Combustión del gas natural: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{Calor} \rightarrow \uparrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Combustión del biogás: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{Calor} \rightarrow \Delta \downarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Características del gas natural.

-El gas natural es un hidrocarburo⁵¹ formado principalmente por CH_4 en un 97 %, aunque también suele contener una proporción variable del 3% de: nitrógeno (N), etano (C_2H_6), CO_2 , H_2O , butano (C_4H_{10}), propano (C_3H_8), mercaptanos (-SH) y trazas de hidrocarburos más pesados.

-Tiene un poder calorífico inferior⁵² (PCI) de 29,52 a 39,96 (MJ/m^3).⁵³

-No requiere tratamiento para su utilización, según se extrae de la tierra se lleva por gaseoductos, para almacenarlo.

-La combustión del gas natural, compuesto principalmente por metano (CH_4), produce un 25% menos de CO_2 , que los productos petrolíferos y un 40% menos de CO_2 que la combustión del carbón por unidad de energía producida.

⁵¹ Son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.

⁵² Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Es el valor que interesa en los usos industriales, por ejemplo hornos o turbinas, porque los gases de combustión que salen por la chimenea están a temperaturas elevadas, y el agua en fase vapor no condensa. También es llamado poder calorífico neto, ya que al poder calorífico superior se resta el calor latente de evaporación. Fuente Ciemat.

⁵³ Unidad de medida del sistema internacional para medir energía, trabajo y calor $1\text{MJ} = 10^6$ Julios. m^3 : metro cúbico, unidad de medida del sistema internacional para medir volumen.

Características del biogás.

-Es un gas producto del resultado de la digestión anaerobia⁵⁴ de materia orgánica, el biogás se produce en un recipiente cerrado con forma cilíndrica llamado biodigestor que puede ser construido con diversos materiales como, ladrillo, cemento, metal o plástico. Su composición depende del sustrato⁵⁵ digerido, puede ser la siguiente: un 50% a 70% de CH₄ y un 30% a 40% de CO₂, 1% a 5% de H₂, H₂O, NH₃, contiene cantidades mínimas menores al 1% de ácido sulfhídrico (H₂S).

-Tiene un PCI de 16,2 a 25,2 MJ/m³, dependiendo de la concentración de CH₄ que contenga.

-Requiere tratamiento para su utilización.

- Su alta concentración en metano (CH₄), le confiere características de combustible ideal para su aprovechamiento energético en motores de cogeneración, y procesos industriales para secado y horneado de productos cerámicos.

¿Por qué el biogás contribuye a reducir las emisiones de CO₂?

El proyecto Probiogás⁵⁶ apoyado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dice: ***“El aprovechamiento energético de los residuos ganaderos tiene un doble efecto:[54]***

- ***reducción de las emisiones debido a la fuente fósil que sustituye*** (el CO₂ del Biogás, pertenece al Ciclo del Carbono retirado por las plantas de la atmósfera, que tras pasar por un digestor (estómago de un animal), se utiliza para la producción de energía, dándose un ciclo neutro de CO₂.

- ***reducción de gases efecto invernadero*** (biometanización⁵⁷, metano que no se vierte a la atmósfera).”

Se muestra una tabla con las equivalencias energéticas de 1m³ de biogás de composición 70% CH₄ + 30% CO₂, obtengo 25,122 MJ/m³, que equivale a:

⁵⁴ Proceso biológico, por el cual se degrada la materia orgánica en condiciones anaerobias (sin oxígeno), mediante la utilización de un determinado tipo de bacterias, para generar biogás.

⁵⁵ Como sustratos se pueden usar multitud de residuos o subproductos de origen agrícola, ganadero y agroindustrial.

⁵⁶ Proyecto singular energético cuyo objetivo es el desarrollo de sistemas de producción y uso de biogás en entornos agroindustriales.

⁵⁷ Proceso biológico producido por la digestión anaerobia, para producir biogás.

Equivalencia de 1m ³ de biogás compuesto de 70% CH ₄ + 30% CO ₂
0,65 m ³ de gas natural compuesto
6,8 Kwh de electricidad.
0,8 litros de gasolina.
0,71 litros de fuel-oil.
1,5 Kg de madera.
1,2 litros de alcohol combustible.

Tabla 20[55]: Equivalencias energéticas de 1m³ de biogás.

El biogás es un combustible limpio, que disminuye la contaminación ambiental en todo el proceso cerámico, y cuyo resultado final es un producto ecológico y respetuoso con el medio ambiente.

¿Cuántas emisiones de CO₂ se reduce sustituyendo gas natural por biogás?

Para calcular las emisiones se ha utilizado el método de cálculo explicado en el punto 3.4. de este trabajo.

Tenemos una mezcla para nuestros equipos de 70% biogás, y 30% gas natural, con un biogás compuesto por 70% CH₄ + 30% CO₂. Para este apartado se utilizan los datos de la instalación 1, para obtener el % de reducción de CO₂, que se obtiene al utilizar la nueva mezcla.

Emisiones de CO ₂ en secadero y horno		
Instalación	Emisiones de CO2 anuales	Consumo de Gas natural (m ³)
Instalación 1, HDR, S.A. LADRILLO CARA VISTA	12.560	5.784.912,2

Tabla 21 [56]: Emisiones CO2 en secadero y horno, en la instalación 1.

Con gas natural se emiten:

Emisiones CO₂ combustión_{GN}[tCO₂] = DA x FE x FO; (4) donde:

DA= Consumo de Combustible x VCN_{GN} = 5.784.912,2m³ x 38,79x10⁻⁶TJ/m³=224TJ (5)

VCN_{GN}= 38,79x10⁻⁶TJ/m³.

FE= 56 tCO₂/TJ.

FO= 1

Los datos se han sacado del anexo X. Sustituyendo todos los datos en la ecuación (4), se obtiene:

Emisiones CO₂ combustión_{GN} = 224 TJ x 56 tCO₂/TJ x 1 = 12.560 tCO₂ (6)

Sabemos que 1m³ de biogás, compuesto (70% CH₄ + 30% CO₂), equivale a 0,65m³ de gas natural, por lo que la relación de m³ de biogás que necesitamos para obtener la misma capacidad energética es:

Relación $\frac{GN}{BG} = \frac{1}{0,65} = 1,5$ (7); es decir para la misma cantidad de energía que se necesita para la cocción y secado, necesitaría 1,5 veces más biogás, que gas natural.

Con mezcla compuesta por, un 70% BG + 30% GN, se emite:

Emisiones CO₂ combustiónmezla[tCO₂] = DAmmezla x FEmmezla x FOmezla (8); donde

$$DAmmezla = (ConsumoGN \times RelaciónGN/BG \times 0,3\%GN) \times VCN_{GN}$$

$$= 5.784.912,2m^3 \times 1,5 \times 0,3 \times$$

$$38,79 \times 10^{-6} TJ = 100,9TJ.$$

FEmmezla = FAGN = 56tCO₂/TJ, porque lo estamos poniendo en función del gas natural, que son los datos que se conocen.

$$FOmezla = 1.$$

Sustituyendo todo en la fórmula (8) queda:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ combustiónmezla} = 100,9TJ \times 56 \text{ tCO}_2/TJ \times 1 = 5654,7 \text{ tCO}_2 \text{ (9)}$$

El ahorro de emisiones sería:

$$\text{Ahorro de emisiones CO}_2 = \text{Emisiones CO}_2_{GN} - \text{Emisiones CO}_2_{Mezcla}$$

$$= 12.566,4tCO_2 - 5.654,7 \text{ tCO}_2 = 6.911,7tCO_2 \text{ (10)}$$

La relación de reducción de emisiones de CO₂ es:

$$\text{Reducción de emisiones CO}_2 = \frac{6.911,7 \text{ tCO}_2}{12.566,7 \text{ tCO}_2} = 0,55 \quad (11)$$

Por lo tanto con esta mezcla reduciría un 55% las emisiones de CO₂, respecto a las emisiones emitidas utilizando sólo gas natural.

A continuación se muestran dos tablas con la comparativa de emisiones de las tres instalaciones sustituyendo el combustible de gas natural por, la nueva mezcla.

Emisiones de CO ₂ en secadero y horno.		
Instalación	Emisiones de CO ₂ anuales con GN. (tCO ₂)	Emisiones de CO ₂ anuales con 70% BG +30% GN. (tCO ₂)
Instalación 1, HDR, S.A. LADRILLO CARA VISTA	12.560	6.911,7
Instalación 2, ICD, S.A. LADRILLO CARA VISTA	9.437	5.190,3
Instalación 3, HDR, S.A. TEJA.	10.3335	5.6834,2
Promedio de las 3 instalaciones	10.777	5.927,3

Tabla 22 [57]: comparativa de emisiones combustión secadero y horno, de las tres instalaciones sustituyendo el combustible de gas natural por, la nueva mezcla.

Emisiones de CO ₂ motor de cogeneración		
Instalación	Emisiones de CO ₂ anuales con GN. (tCO ₂)	Emisiones de CO ₂ anuales con 70% BG +30% GN. (tCO ₂)
Instalación 1, HDR, S.A. LADRILLO CARA VISTA	2.533	1.393,1
Instalación 2, ICD, S.A. LADRILLO CARA VISTA	2.877	1582,3
Instalación 3, HDR, S.A. TEJA.	2.533	1.393,1
Promedio de las 3 instalaciones	2647,6	1.496,5

Tabla 23[58]: comparativa de emisiones combustión, motor cogeneración, de las tres instalaciones sustituyendo el combustible de gas natural por, la nueva mezcla.

Esta reducción de CO₂ implica un excedente aún mayor de derechos de emisión asignados, que se pueden utilizar para venderlos en el mercado de EUETS, a otras instalaciones que lo necesiten, y así poder obtener beneficios.

¿Cuándo es rentable utilizar biogás para la mezcla?

Para este apartado se cuenta con el precio de gas natural es de 1,2256 c€/Kwh (término variable de la factura), que corresponde a la tarifa 3.4, regulada por la Resolución de 28 de diciembre de 2012, de la Directiva General de Política Energética y Minas, por la que se hace pública la tarifa de último recurso de gas natural, para instalaciones con un consumo superior anual de gas natural de 100.000 Kwh/año, y para una presión del gas inferior a 4 bares. El factor de conversión para transformar el consumo de gas natural de m³ a Kwh, es 10,8Kwh/m³, obtenido del término medio anual de la tarifa 3.4.

Para responder esta pregunta planteamos la siguiente inecuación:

$$\text{Precio de venta final} - \text{Precio de venta inicial} > 0; (12)$$

$$\text{Precio venta inicial} = PV0 = m3GN \times PVGN = AP \quad (13) \text{ donde}$$

m^3GN : metros cúbicos de gas natural, (para este planteamiento $m^3GN=A$).

PVGN: precio de venta de gas natural, (para este planteamiento $PVGN=P$).

Precio venta final = $PVf = m^3mezcla \times \%GN \times PVGN + m^3mezcla \times \%BG \times PVBG$
 $= (1,5A \times 0,3 \times A) + (1,5A \times 0,7 \times R)$ (14) donde:

m^3_{mezcla} : metros cúbicos 70% BG + 30% GN, (para este planteamiento)
 $m^3_{mezcla}=B=1,5A$, obtenido de la ecuación (7).

$\%GN=30\%=0,3$.

$\%BG=70\%=0,7$.

PVBG= precio de venta del biogás, (para este planteamiento $PVBG=R$).

Quedando unos valores para $PV0$ y PVf , que se muestran a continuación.

$$PV0 = A \times P$$

$PVf = A \times B \times 1,5 \times 0,3 \times P + B \times 1,5 \times 0,7 \times R$, donde $B=1,5A$

$$= A \times 1,5A \times 0,3 \times P + 1,5A \times 1,5 \times 0,7 \times R \quad (15)$$

Se va a buscar una relación entre el PVGN y PVBG, para poder utilizarla en la inecuación sustituyendo en la fórmula (12) se obtiene:

$$PVf - PV0 = 0;$$

$$PVo = PVf ;$$

$A \times P = A \times 1,5A \times 1,5 \times 0,3 \times P + 1,5A \times 1,5 \times 0,7 \times R$; se saca factor común de A,

$$= A \times (1,5 \times 0,3 \times P + 1,5 \times 0,7 \times R) = A \times (0,45 \times P + 1,05 \times R); \quad (16)$$

$P = (0,45 \times P) + 1,05 \times R$; se agrupan términos: $0,55 \times P = 1,05 \times R$, finalmente se obtiene la relación buscada.

$$P/R = 1,05/0,55 = 1,9. \quad (17)$$

Se estudia esta inecuación $PVf-PV0 > 0$; para $P/R > 1,9$ y $P/R < 1,9$.

$$PVf - PV0 = A \times (0,45 \times P + 1,05 \times R) - AP \quad (18)$$

$$PVf - PVo = A \times (1,05 \times R - 0,55 \times P) = 0 \quad (19);$$

Despejando R en función de P, de la ecuación (19) se obtiene $R=0,52P$ (20).

Caso a) Para $P/R > 1,9$

Se coge el valor 2, queda $P/R=2$; $P=2R$, sustituyendo en (17) queda, $R=1,04$ y una $P=2,08$. Se meten estos valores en la ecuación (19) y obtengo un valor negativo (-0,06), esto quiere decir que la diferencia entre el PVf y PV0 es negativa, porque el PVf es más barato que el PV0.

Conclusión: cuando el PVBG sea 0,52PVGN o menos, se ganará dinero, por lo tanto será rentable usar biogás.

Caso b) Para $P/R < 1,9$

Se coge el valor 1,8 queda $P/R=1,8$; $P = 1,8 R$, sustituyendo en (17) queda, $R=-0,05$ y una $P= -0,10$. Se meten estos valores en la ecuación (19) y obtengo un valor positivo esto quiere decir que la diferencia entre el PVF y PV0 es positiva (0,1), porque el PVF es más caro que el PV0.

Conclusión: cuando el PVBG sea mayor que 0,52PVGN, se perderá dinero, por lo tanto no será rentable usar biogás.

¿Cuándo pasara a ser rentable, con el precio de venta del CO₂ actual en el mercado de derechos de emisión?

El precio de venta de CO₂ (PVC02) es 4,5€/t. Por la combustión de 1000 m³ de gas natural, producimos 2,17 tCO₂/m³, este cálculo se obtiene de:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ combustión GN} = \text{DAGN} \times \text{FEGN} \times \text{FO} = 2,17 \text{ tCO}_2 = 2,17 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3 \text{ (21)}$$

donde;

$$\text{DAGN} = 1000 \text{ m}^3 \times 38,79 \text{ TJ/m}^3 = 0,04 \text{ TJ}$$

$$\text{FAGN} = 56 \text{ tCO}_2/\text{TJ}$$

$$\text{FO} = 1$$

$$\text{PVGN} = P = 1,2256 \times 10^{-2} \text{ €/Kwh} \times 10,8 \text{ Kwh/m}^3 = 0,13 \text{ €/m}^3$$

$$\text{PVC02} = 4,5 \text{ €/t} \times 2,17 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3 = 9,8 \times 10^{-3} \text{ €/m}^3.$$

Se mete este dato en la ecuación (3), y se obtiene:

$$\text{PVf} - \text{PVo} = \text{PVC02} \times A;$$

$$\text{PVo} = \text{PVC02} \times A - \text{PVf};$$

$$\text{AP} = \text{PVC02} \times A - A \times (1,05 \times R - 0,55 \times P) \leq 0 ; \text{ (22)}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (22) se obtiene:

$$9,8 \times 10^{-3} \times A - A \times (1,05 \times R - 0,07) \leq 0 \quad (23) \text{ se despeja } R ;$$

$$8 \times 10^{-3} - 0,07 = 1,05 R; \quad (24)$$

$R=0,08 \text{ €/m}^3$. Se mete este valor en la ecuación (23) y se obtiene:

Si $R > 0,08 \text{ €/m}^3$. Entonces $9,8 \times 10^{-3} - (1,05 \times R - 0,07)$ = Número negativo.

Si $R < 0,08 \text{ €/m}^3$. Entonces $9,8 \times 10^{-3} - (1,05 \times R - 0,07)$ = Número positivo (interesa)

Conclusión: cuando el PVBG sea inferior a $0,08 \text{ €/m}^3$, dará beneficio porque lo compenso con el precio de venta del CO_2 en el mercado.

¿Y si el PVC_{CO_2} llega hasta los valores máximos que alcanzo en 2005?, ¿cuándo será rentable?

Aquí el $\text{PVC}_{\text{CO}_2} = 35 \text{ €/t} \times 2,17 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3 = 75,9 \times 10^{-3} \text{ €/m}^3$; (25)

análogamente al punto anterior tendría una ecuación:

$$75,9 \times 10^{-3} \times A - A \times (1,05 \times R - 0,07) \leq 0 \quad (26) \text{ se despeja } R ;$$

$$75,9 \times 10^{-3} - 0,07 = 1,05 R;$$

$R=0,14 \text{ €/m}^3$. Se mete este valor en la ecuación (26), y se obtiene:

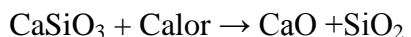
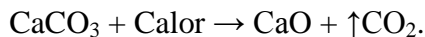
Si $R > 0,14 \text{ €/m}^3$. Entonces $75,9 \times 10^{-3} - (1,05 \times R - 0,07)$ = Número negativo.

Si $R < 0,14 \text{ €/m}^3$. Entonces $75,9 \times 10^{-3} - (1,05 \times R - 0,07)$ = Número positivo (interesa).

Conclusión: cuando el PVBG sea inferior a $0,14 \text{ €/m}^3$, dará beneficio porque lo compenso con el precio de venta del CO_2 en el mercado.

4.4.2. Añadir wollastonita

Añadir wollastonita (CaSiO_3), en el proceso de fabricación, para reducir el contenido de CaCO_3 de material, y así reducir las emisiones de proceso de CO_2 , que se dan en la etapa de cocción entre 800°C y 850°C .



¿Cuánto CO_2 se dejaría de emitir si añadimos CaSiO_3 ?

Para este apartado consideramos una pureza CaCO_3 de pureza del 98%, obtenido de la empresa S.A. Reverte productos minerales y Clarianacal S.A. que, controlan el 70% del mercado nacional español. La pureza de CaSiO_3 es de un 45% obtenida de la única mina actualmente en funcionamiento de España situada en Salamanca, que es propiedad de la Compañía Minera Ilustración.

Antes de proceder a los cálculos se van a definir lo siguientes datos:

$M_c = 1 \text{ Mol } \text{CaCO}_3 = (40g + 12g + 16 \times 3g) = 100g$, sustancia pura 100% de CaCO_3 .

$M_w = 1 \text{ Mol } \text{CaSiO}_3 = (40g + 28g + 16 \times 3g) = 116g$, sustancia pura 100% CaSiO_3 .

$M_{carb} = 1 \text{ Mol de } M_c \times \eta_{\text{CaCO}_3}$. (27).

$M_{woll} = 1 \text{ Mol de } M_w \times \eta_{\text{CaSiO}_3}$. (28).

$$1 \text{ Mol } \text{SiO}_2 = 28g + 16 \times 2 = 60g.$$

$$1 \text{ Mol } \text{CO}_2 = (12g + 16 \times 2) = 44g.$$

Donde,

$$\eta_{\text{CaCO}_3} = 0,98.$$

$$\eta_{\text{CaSiO}_3} = 0,45.$$

Los cálculos son:

$$1 M_c \leftrightarrow 1 M_w \leftrightarrow \Delta \downarrow 1 \text{ Mol } \text{CO}_2 ; (29)$$

Donde,

$$M_c / \eta_{\text{CaCO}_3} = 100g / 0,98 = 102g; (30)$$

$$Mw/\eta CaSiO_3 = 116g / 0,45 = 257,7g; (31)$$

Sustituyendo todo en la fórmula (29), nos queda una relación de:

$$Mc/\eta CaCO_3 \leftrightarrow Mw/\eta CaSiO_3 \leftrightarrow 1 Mol CO_2; (32)$$

$$102g CaCO_3 \leftrightarrow 257,7g CaSiO_3 \leftrightarrow 44g CO_2. (33)$$

Como los datos están en toneladas, se va a expresar la relación en toneladas, dando lugar a:

$$102 tCaCO_3 \leftrightarrow 257,7 tCaSiO_3 \leftrightarrow 44 tCO_2 ; (34)$$

Es decir, por cada 257,7 tCaSiO₃, dejaríamos de emitir Δ ↓ 44 tCO₂.

A demás por cada 257,7 tCaSiO₃ que introducimos, dejamos de introducir 60 tSiO₂.

¿Cuál es el precio máximo de CaSiO₃, para que sea rentable la sustitución por el CaCO₃?

Para este apartado se va a utilizar una base de cálculo de 100 toneladas de CaSiO₃, dado que los precios obtenidos están en €/tonelada, y son los siguientes: precio de CaCO₃= 100€/t, precio de SiO₂= 60 €/t, precio de CO₂= 4,5 €/t, obtenido del Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono (SENDECO₂).

Para responder esta pregunta, se plantea la siguiente inecuación:

$$Los gastos por introducir CaSiO_3 < a los ahorros por introducir CaSiO_3; (35)$$

Donde:

Los gastos por introducir CaSiO₃ son:

$$Gastos = toneladas CaSiO_3 \times precio CaSiO_3; (36) \text{ donde:}$$

Tonelas CaSiO₃= 100

Precio CaSiO₃ = x

Los ahorros por introducir CaSiO₃ son:

$$Ahorro 1, por reducir el consumo de CaCO_3 = tCaCO_3 \text{reducimos} \times precio tCaCO_3; (37)$$

$$Ahorro 2, por reducir consumo de SiO_2 = tSiO_2 \times precio tSiO_2 ; (38)$$

$$Ahorro 3, por vender el CO_2 que reducimos en el mercado de EUETS. (39)$$

Donde:

$$Ahorro 1 = ((102t \times 100€/t)/2,577) = 3958,1€.$$

$$Ahorro 2 = ((60t \times 60€/t)/2,577) = 1396,9€.$$

$$\text{Ahorro 3} = ((44t \times 4,5€/t)/2,577) = 76,8€.$$

Sustituyendo todo en la fórmula (35), se obtiene:

$$100t \times X < 3958€ + 1396,9€ + 76,8€; \quad (40)$$

despejando la incógnita X obtengo:

$$X = (3958€ + 1396,9€ + 76,8€)/100t = 54,319€/t; \quad (41)$$

El precio de CaSiO₃ debe ser < 54,319 €/t.

El precio de CaSiO₃ debe ser menor de 54,319€/t para que se obtengan beneficios con esta solución.

4.4.3. Otras medidas

Para la reducción de partículas PM₁₀, que es la tercera fuente de emisión perjudicial, en el transporte, carga y descarga de material, se debe llevar a cabo:

- Limpieza y riego periódico de las zonas de tránsito, así como de toda la planta.
- Cubrir la bañera de los camiones con toldo, evitando así emisiones de partículas por acción del viento.
- Evitar el almacenamiento prolongado de las materias primas.

Aunque la extracción de la arcilla y la arena conlleva un gran impacto medioambiental, también acarrea posibles beneficios, tales como la creación de reservas naturales, lagos artificiales destinados al recreo y la formación de depósitos para varias formas de residuos, siendo éste último particularmente útil ya que las canteras de arcilla agotadas constituyen un medio aceptable para la eliminación de residuo.

En cuanto al CO y NO₂, se reducen también al sustituir parcialmente el gas natural por biogás.

Las emisiones de SO₂, HF, HCL, CH₄, no suponen niveles elevados, el gas más perjudicial para el efecto invernadero es el CH₄, pero tiene niveles bajos de emisión 0,0013 g/ Kg de producción.

Conclusiones

A partir de este proyecto final de carrera se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. El mercado Europeo de Derechos de Emisión es una realidad y una experiencia de éxito. Se trata de un sistema muy práctico, ya que permite a las instalaciones superar su cuota de emisiones a condición de que encuentren otras instalaciones que produzcan menos emisiones y les vendan sus cuotas. Este sistema fomenta el desarrollo de nuevas tecnologías, y las empresas, motivadas por los beneficios que obtienen de la venta de sus derechos de emisión, desarrollan y utilizan tecnologías limpias.

2. En cuanto a la industrial ladrillera existe una correlación entre la tendencia del volumen de producción, y el volumen de emisiones registradas. Así durante los años 2005 (28,5 millones de toneladas producidas) y 2006 (29,93 millones de toneladas producidas) en los que hubo un incremento del volumen de producción, se produce un incremento de las emisiones registradas, de 4,87 MtCO_{2-eq} emitidas en el ejercicio 2005 se pasa a 5,02 MtCO_{2-eq}, emitidas en el ejercicio 2006. A su vez, se registran una disminución de las emisiones registradas durante los años 2007 (4,83 MtCO_{2-eq}) y 2012 (1,65 MtCO_{2-eq}), que va asociado al retroceso del volumen del nivel de producción (28,8 millones de toneladas producidas en 2007, a 7,03 millones de toneladas producidas en 2012).

Esto ocasiona un superávit entre la asignación de derechos y los derechos verificados que tiene lugar durante el año 2007 con 0,1754 millones de emisiones de superávit, hasta el año 2012, con 2,62 millones de emisiones de superávit. Esto conlleva a un excedente de derechos que cada empresa podrá determinar si los utiliza con el fin de aumentar sus beneficios vendiendo ese excedente en el mercado de derechos de emisión, y paliar parcialmente la reducción de los ingresos que sufren las empresas por la caída de las ventas o quedárselos para el período 2013-2020,

Además, hay que sumarle que el sector cerámico estructural no está dentro de las actividades que tienen riesgo de deslocalización para el periodo 2013-2020, por ello la asignación gratuita de derechos de emisión irá reduciéndose, fomentando la subasta.

Por todos estos motivos es necesario que el sector cerámico estructural aúne esfuerzos para reducir las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ en el proceso de fabricación de sus productos, por una parte para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones para el período 2013-2020, y que no les suponga sanciones, y por otra parte, para aprovechar el excedente de derechos de emisión obtenidos, y así, obtener beneficios adicionales, mediante la venta de los derechos de emisión que se les asignara a título gratuito y que probablemente no van a utilizar por el descenso de la actividad productiva que se está produciendo en el sector.

3. En cuanto la utilización parcial de biogás como combustible en los procesos de combustión supone una reducción de las emisiones de CO_2 del 55%, respecto a las emisiones obtenidas utilizando sólo gas natural. El biogás será rentable utilizarlo cuando su precio de venta sea la mitad o menor que el precio de venta del gas natural. Cuando no ocurra esto el precio de venta del biogás será rentable cuando sea inferior a $0,008\text{€m}^3$, porque se compensará con el precio de venta del CO_2 en el mercado de derechos de emisión, (actualmente $4,5\text{€}$). Cuando se vuelvan a llegar a valores del año 2005 (35€tCO_2) el precio de venta del biogás tendrá que estar por debajo de $0,14\text{€m}^3$.

4. En cuanto a añadir CaSiO_3 en el proceso de fabricación, por cada $257,7\text{ tCaSiO}_3$, dejaríamos de emitir $\Delta \downarrow 44\text{ tCO}_2$. Para que esta media sea rentable el precio de CaSiO_3 debe ser menor de $54,319\text{€t}$ para que los gastos (compra de CaSiO_3) se menores que los ingresos (Ahorro por reducir el consumo de CaCO_3 , ahorro por reducir el consumo de SiO_2 , ahorro por vender el CO_2 que reducimos en el mercado de derechos de emisión).

Trabajos futuros

Después de la elaboración de este proyecto, y contando con el valor de los resultados, los trabajos futuros que se podrían llevar a cabo serían los siguientes:

- a. Aplicación del biogás a otras actividades fabriles del IPPC. (Prevención y Control Integrado de la Contaminación.)
- b. Transmisión de este resultado a las partes implicadas: suministradores de woll, suministradores de biogás, fabricantes de ladrillos y tejas.
- c. Aprovechamiento energético del calor residual de hornos como fuente cogeneración y otras optimizaciones del proceso.

Bibliografía

- [1] Asamblea General de Naciones Unidas, Resolución 45/212, sobre la protección del clima mundial para las generaciones humanas presentes y futuras, de 19 de diciembre de 1990.
- [2] Comunidad Europea, Decisión 94/69/CE, relativa a la celebración de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de 15 de diciembre de 1993.
- [3] Comunidad Europea, Decisión 2002/358/CE, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo, de 25 de abril de 2002,
- [4] Agencia Europea del Medio Ambiente-2011.
<http://www.eea.europa.eu/publications/ghg-trends-and-projections-2011>. Visitado 21 marzo 2013.
- [5] Parlamento Europeo y del Consejo, Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad Europea, 13 de octubre 2003.
- [6] Parlamento Europeo y del Consejo, Directiva 96/61/CE, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación, de 24 de septiembre de 1996.
- [7] Parlamento Europeo y del Consejo, la Directiva 2009/29/CE, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 23 de abril 2009.
- [8] Sistema cap and trade. www.energiaysociedad.es. 2012. Visitada 20 junio 2012.
- [9] Cortes Generales de España, Ley 1/2005 por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 9 de marzo de 2005.

[10] SENDECO2, es la Bolsa Europea de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono (EUAs) y Créditos de Carbono (CERs) especializada en PYMES, es un mercado secundario ideado en Septiembre del 2004. www.sendeco2.com.

[11] Comisión Europea, Decisión 2007/589/CE, por la que se establece el seguimiento y verificación de los derechos de emisión, julio de 2007.

[12] Conferencia de las partes COP7, Artículo 12 del Protocolo de Kioto, por el que se establecen los mecanismos de desarrollo limpio.

[13] Conferencia de las partes COP7, Artículo 6 del Protocolo de Kioto, por el que se establecen los mecanismos de AC.

[14] Conferencias de las partes COP7, Artículo 3.3 y 3.4 del protocolo de Kioto, por el que se establecen los sumideros biológicos.

[15] Parlamento Europeo y del Consejo, la Directiva 2008/101/CE, incluir las actividades de aviación en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, de 19 de noviembre de 2008.

[16] Cortes Generales de España, Ley 13/2010, por la que se modifica la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, para perfeccionar y ampliar el régimen general de comercio de derechos de emisión e incluir la aviación en el mismo, de 5 de julio.

[17] Agencia Europea del Medio Ambiente-2011.
<http://www.eea.europa.eu/publications/ghg-trends-and-projections-2011>. Visitada el 16 mayo de 2013.

[18] Fuente Dirección general de la industria del MITYC.

[19] Agencia Europea del Medio Ambiente-2011.
<http://www.eea.europa.eu/publications/ghg-trends-and-projections-> Visitada el 16 mayo de 2013.

[20] Dirección general de industria del MYCT y Oficina Española de Cambio Climático del MARMA, Título: 'El CO2 y la industria en España. De la primera asignación de derechos a la etapa post-Kioto'.

[21][22] Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España 1990-2011: Edición 2013.

[23][24][53] Hispalyt: Asociación española de fabricantes de ladrillos y tejas de arcilla cocida.

[25] Cortes Generales Españolas, Ley 16/2002, de prevención y control de riesgos integrados de la contaminación, para evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el

establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto, de 1 de julio.

[26][27] Mercado de Carbono en España 2012. Por la empresa Factor CO2.

[28][29][30][31][49][50][51][52][56] Hermanos Díaz Redondo, S.A., instalación de fabricación de ladrillo cara vista. Grupo Hermanos Díaz Redondo, S.A.

[32]<http://www.mtiblog.com/2009/09/canteras-de-arcilla-de-pantoja-toledo.html>.
Visitado 15 enero 2013.

[33] Departamento medioambiente de AITEMIN. Centro Tecnológico de carácter privado y sin ánimo de lucro, cuya actividad se desarrolla fundamentalmente en los sectores de las industrias extractivas, la construcción, la energía y el medio ambiente.

[34]<http://www.mtiblog.com/2009/09/canteras-de-arcilla-de-pantoja-toledo.html>.
Visitada 8 diciembre de 2012.

[35][36] www.ceramicaselparaiso.com. Visitada 12 diciembre de 2012.

[37] <http://www.fam.de/>. Visitada 8 noviembre 2012.

[38][39] <http://www.mocsa.es/es/maquinaria>. Visitada 30 junio 2012.

[40]<http://www.verdes.com/articles-mostra-2307-esp-productos.htm>. Visitada 26 septiembre 2012.

[41][42]] <http://www.verdes.com/articles-mostra-2307-esp-productos.htm>. Visitada 4 abril de 2013.

[43][44] www.mssouza.com. Visitada 12 agosto de 2012.

[45]Junta de Andalucía. Secadero túnel.pdf.

[46][47][48][57][58]Elaboración propia.

[53] Informe de inventario de emisiones de GEI en España. 1990-2011.

[54][55]Proyecto Probiogás. Desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España PROYECTO SINGULAR Y ESTRATÉGICO PS-120000-2007-6

Expedientes PSE-120000-2007-16; PSE-120000-2008-10; PSE-120000-2009-4.

[59] Convención Marco de Naciones Unidas, anexo I.

[60]. Protocolo de Kioto, anexo A.

[61]. Protocolo de Kioto, anexo B.

[62] Enmienda de Doha, anexo A.

[63] Parlamento y consejo Europeo, Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad Europea, 13 de octubre 2003 anexo A.

[64] IPPC Prevención y Control Integrado de la Contaminación.

[65] Parlamento y consejo Europeo, Directiva 2009/29/CE, anexo I por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 23 de abril 2009.

[66] De la Comisión y del Consejo, Decisión 2010/2/UE, se determina aquellos sectores y subsectores que se consideran expuestos a un riesgo significativo de fuga de carbono.2010.

[67] Del parlamento Europeo, Directiva 2009/29/CE, anexo II bis, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 23 de abril 2009.

[68] Del parlamento Europeo, Directiva 2009/29/CE, anexo II ter, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 23 de abril 2009.

[69] Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990-2011.

[70] Fuente obtenido de las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.

Anexos

Anexo 1. Países industrializados y/O con economías de mercado que participan en la CMNUCC. [59]

Anexo I
Alemania, Australia, Austria, Belarús ^a , Bélgica, Bulgaria ^a , Canadá, Croacia ^{a*} , Comunidad Económica Europea, Dinamarca, Eslovaquia ^{a*} , Eslovenia ^{a*} , España, Estados Unidos de América, Estonia ^a , Federación de Rusia ^a , Finlandia, Francia, Grecia, Hungría ^a , Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Letonia ^a , Lituania ^a , Liechtenstein*, Luxemburgo, Mónaco*, Noruega, Nueva Zelandia, Países Bajos, Polonia ^a , Portugal, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, República Checa ^{a*} , Rumania ^a , Suecia, Suiza, Turquía, Ucrania ^a .

^a Países que están en proceso de transición a una economía de mercado.

* *Nota editorial:* Países incorporados en el anexo I mediante una enmienda que entró en vigor el 13 de agosto de 1998 de conformidad con la decisión 4/CP.3, adoptada por la CP en su tercer período de sesiones.

Anexo II. Gases considerados de efecto invernadero que recoge el Protocolo de Kioto y que se ven afectados por la normativa de derechos de emisión [60]

Anexo II
Dióxido de carbono (CO ₂)
Metano (CH ₄)
Óxido nitroso (N ₂ O)
Hidrofluorocarbonos (HFC)
Perfluorocarbonos (PFC)
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)

Anexo III. Compromiso cuantificado de limitación de emisiones o reducción de las emisiones período 2008-2012 % del nivel del año base 1990 [61].

Anexo III	
País	<i>Compromiso cuantificado de limitación o reducción de las emisiones(2008-2012)(porcentaje del nivel del año o período de base)</i>
Alemania	92
Australia	108
Austria	92
Bélgica	92
Bulgaria*	92
Croacia*	95
Dinamarca	92
Eslovaquia*	92
Eslovenia*	92
España.	92
Estados Unidos	93
Estonia*	92
Federación Rusa	100
Finlandia	92
Francia	92
Grecia	92
Hungría*.	94
Irlanda	92
Islandia	110
Italia	92
Japón	94

Letonia*	92
Liechtenstein	92
Lituania*	92
Luxemburgo	92
Mónaco	92
Noruega	101
Nueva Zelanda	100
Países Bajos	92
Polonia*	94
Portugal	92
Reino Unido e Irlanda del Norte	92
República Checa*	92
Rumania*	92
Suecia	92
Suiza	92
Ucrania*	100
Unión Europea	92

Anexo IV. Compromiso cuantificado de limitación de emisiones o reducción de las emisiones período 2013-2020 % del nivel del año base 1990.[62]

Anexo IV	
País	<i>Compromiso cuantificado delimitación o reducción de las emisiones (2013-2020) (porcentaje del nivel del año o período de base)</i>
Alemania	80

Australia	99,5
Austria	80
Bielorusia ⁵ *	88
Bélgica	80
Bulgaria*	80
Chipre	80
Croacia*	80
Dinamarca	80
Eslovaquia*	80
Eslovenia*	80
España.	80
Estonia*	80
Finlandia	80
Francia	80
Grecia	80
Hungría*.	80
Irlanda	80
Islandia	80
Italia	80
Kazajstán*	95
Letonia*	80
Liechtenstein	84
Lituania*	80
Luxemburgo	80
Malta	80
Mónaco	78
Noruega	84
Países Bajos	80
Polonia*	80

Portugal	80
Reino Unido e Irlanda del Norte	80
República Checa*	80
Rumania*	80
Suecia	80
Suiza	84,2
Ucrania*	76
Unión Europea	80

* Países que están en proceso de transición a una economía de mercado.

Anexo V. Instalaciones afectadas por el régimen de derechos de emisión, hasta el 31 de diciembre de 2012. [63]

Anexo V	
<p>Actividades Energéticas</p>	<p>1. Instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW, incluyendo:</p> <p>a) Instalaciones de producción de energía eléctrica de servicio público.</p> <p>b) Instalaciones de cogeneración con independencia del sector en el que den servicio.</p> <p>2. Refinerías de hidrocarburos.</p> <p>3. Coquerías.</p>
<p>Metales Férreos</p>	<p>1. Instalaciones de calcinación o sinterización de minerales metálicos incluido el mineral sulfurado.</p> <p>2. Instalaciones para la producción de arrabio o de acero (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de colada continua con una capacidad de más de 2,5 toneladas por hora.</p>
<p>Industrias Minerales</p>	<p>1. Instalaciones de fabricación de:</p> <p>- cemento sin pulverizar ("clinker") en hornos rotatorios con una capacidad de producción</p>

	<p>superior a 500 toneladas diarias.</p> <p>- cal en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día, o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día.</p> <p>2. Vidrio incluida la fibra de vidrio, con una capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día.</p> <p>3. Productos cerámicos mediante horneado, en particular de tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas, con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día, y una capacidad de horneado de más de 4 m3 y/o de más de 300 kg/m3 de densidad de carga por horno.</p>
Otras Actividades	<p>Instalaciones de fabricación de:</p> <p>-pasta de papel a partir de madera o de otras materias fibrosas.</p> <p>-papel o cartón con una capacidad de producción de más de 20 toneladas diarias</p>

Anexo VI. Gases efecto invernadero y su equivalencia en toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq)[64].

Anexo VI		
GEI	Valor del poder de calentamiento global respecto al CO ₂	Equivalencia
Dióxido de carbono (CO ₂)	1	1 tCO ₂ = 1 tCO ₂ eq
Metano (CH ₄)	21	1 tCH ₄ = 21 tCO ₂ eq
Óxido nitroso (N ₂ O)	310	1 tN ₂ O = 310 tCO ₂ eq
Hidrofluorocarbonos (HFC)	140 a 11,700	Varía según el tipo de HFC
Perfluorocarbonos (PFC)	6,500 a 9,200	Varía según el tipo de PFC
Exafluoruro de azufre (SF ₆)	23,900	1 tSF ₆ = 23,9 tCO ₂ eq

Anexo VII: Instalaciones afectadas por el régimen de derechos de emisión, a partir del 1 de enero de 2013.[65]

Anexo VII	
<p>Actividades Energéticas</p>	<p>1. Instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW, incluyendo:</p> <p>a) Instalaciones de producción de energía eléctrica de servicio público.</p> <p>b) Instalaciones de cogeneración con independencia del sector en el que den servicio.</p> <p>2. Refinerías de hidrocarburos.</p> <p>3. Coquerías.</p>
<p>Metales Férreos</p>	<p>1. Instalaciones de calcinación o sinterización, incluida la peletización, de minerales metálicos incluido el mineral sulfurado.</p> <p>2. Instalaciones para la producción de arrabio o de acero (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de colada continua con una capacidad de más de 2,5 toneladas por hora.</p> <p>3. Producción y transformación de metales férreos (como ferroaleaciones) cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal total superior a 20 MW. La transformación incluye, entre otros elementos, laminadores, recalentadores, hornos de recocido, forjas, fundición, y unidades de recubrimiento y decapado.</p>
<p>Metales no Férreos</p>	<p>1. Producción de aluminio primario y secundario.</p> <p>2. Producción de aluminio secundario cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal total superior a 20 MW.</p> <p>3. Producción y transformación de metales no férreos, incluida la producción de aleaciones, el refinado, el moldeado en fundición, etc., cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal total (incluidos los combustibles utilizados como agentes reductores) superior a 20 MW.</p>
	<p>1. Instalaciones de fabricación de:</p> <p>-cemento sin pulverizar («clinker») en hornos</p>

<p>Industrias</p> <p>Minerales</p>	<p>rotatorios con una capacidad de producción superior a 500 toneladas diarias o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día.</p> <p>-cal (o calcinación de dolomita o magnesita) en hornos rotatorios o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas diarias.</p> <p>-vidrio (incluida la fibra de vidrio), con una capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día.</p> <p>-productos cerámicos mediante horneado (en particular de tejas, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico o porcelanas), con una capacidad de producción superior a 75 toneladas por día y una capacidad de horneado de más de 4 m3 y de más de 300 kg/m3 de densidad de carga de horno.</p> <p>-material aislante de lana mineral utilizando cristal, roca o escoria, con una capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día.</p> <p>2. Instalaciones de secado o calcinación de yeso o producción de placas de yeso laminado y otros productos de yeso, cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal superior a 20 MW.</p>
<p>Industria</p> <p>Química</p>	<p>1. Producción de negro de humo, incluida la carbonización de sustancias orgánicas como aceites, alquitranes y residuos de craqueo y destilación, cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal total superior a 20 MW.</p> <p>2. Producción de ácido nítrico, ácido adípico, ácido de glioxal, ácido glioxílico, amoníaco, carbonato sódico (Na₂CO₃) y bicarbonato de sodio (NaHCO₃).</p> <p>3. Fabricación de productos químicos orgánicos en bruto mediante craqueo, reformado, oxidación parcial o total, o mediante procesos similares, con una capacidad de producción superior a 100 toneladas por día.</p> <p>4. Producción de hidrógeno (H₂) y gas de síntesis mediante reformado u oxidación parcial, con una capacidad de producción superior a 25 toneladas por día.</p>

Otras Actividades	<p>1. Instalaciones de fabricación de:</p> <ul style="list-style-type: none"> -pasta de papel a partir de madera o de otras materias fibrosas. -papel o cartón con una capacidad de producción de más de 20 toneladas diarias. <p>2. Captura de CO₂ de aquellas instalaciones afectadas por el comercio de emisiones con fines de transporte y almacenamiento geológico en un emplazamiento de almacenamiento.</p>
----------------------	---

Anexo VII. Actividades que no están expuestas a un riesgo significativo de deslocalización o fugas de carbono.[66]

Anexo VII
Ladrillos cara vista con una densidad > 1000 Kg/m ³ utilizados para albañilería según la norma EN 771-1, excluidos los ladrillos de pavimentación, ladrillos clinker o gres, y ladrillos cara vista relampagueados o flasheados
Ladrillos de arcilla utilizados para el revestimiento de suelos según la norma EN 1344.
Planchas de yeso (tableros, hojas, paneles, losetas).
Tejas de arcilla cocida según la norma EN 1304:2005, excluidos las tejas y piezas auxiliares relampagueadas o flasheadas.
Yeso consistente en mineral de yeso o sulfato de calcio calcinado (incluido el destinado a utilizarse en la construcción, en el revestimiento de telas o de papel, en odontología para enmendar el suelo), expresado en toneladas de estuco. El yeso alfa no está incluido en esta referencia de producto.
Yeso secundario secado (yeso sintético producido como subproducto reciclado del sector de la energía o material reciclado procedente de residuos de construcción y de la demolición), expresado en toneladas de producto
Productos de lana mineral para aislamiento térmico, acústico e ignifugo, obtenidos a partir de vidrio, roca o escoria.

Anexo VIII: Incremento de % de derechos de emisión que subastaran los estados miembros. [67] anexo II bis de la Directiva 2009/29/CE

Anexo VIII	
País	% del Estado miembro
Bélgica	10
Bulgaria	53
Chipre	20
Eslovaquia	41
Eslovenia	20
España	13
Estonia	42
Grecia	17
Hungría	28
Italia	2
Letonia	56
Lituania	46
Luxemburgo	10
Malta	23
Polonia	39
Portugal	16
Republica Checa	31
Rumanía	53
Suecia.	10

Anexo IX: Distribución de los derechos que habrán de ser subastados por los estados miembros de conformidad con el artículo 10, apartado 2, letra c), con arreglo a los esfuerzos precoces de algunos estados miembros para lograr el 20% de reducción de las emisiones de gases efecto invernadero[68].

AnexoIX	
Estado miembro	Distribución de 2% frente a la referencia en Kioto en porcentajes.
Bulgaria	15%
Republica Checa	14%
Estonia	6%
Hungría	5%
Letonia	4%
Lituania	7%
Polonia	27%
Rumania	29%
Eslovaquia	3%

Anexo X. Factores de emisión, factores de oxidación, y valores caloríficos netos, para el sector ladrillos y tejas, en emisiones de combustión [69]

Anexo X			
Combustible	Factor de Emisión (t CO₂/TJ)	Factor de Oxidación Implícito (1)	PCI= Valor calorífico neto (GJ/t)
Coque de petróleo (2)	93,3	0,99	32,5.10
Fuelóleo (3)	76	0,99	40,18
Gas Natural (4) (5)	56	0,995	48,98

(1) Factor de oxidación implícito: valor ya incorporado en el factor de emisión.

(2) Estos datos se han tomado de valores medios obtenidos a partir de información facilitada por OFICEMEN, principal sector consumidor de este combustible.

(3) La limitación del porcentaje de azufre según el R.D. 287/2001, motiva que ya no se distinga entre los fuelóleos BIA, N° 1 y N° 2.

(4) El PCI también se puede expresar en relación al volumen, siendo su valor de 38,79 GJ / miles m³ = 38,79.10⁻⁶ TJ/m³.

(5) Para el paso de PCS a PCI en el gas natural se utiliza el factor de conversión de 0,902.

Anexo XI: factor de emisiones, para emisiones de proceso en el sector ladrillos y tejas [70].

Anexo XI	
Carbonato	Factor de emisión (tCO ₂ /t)
CACO ₃	0,440
MgCO ₃	0,522
En general: Xy(CO ₃)z	(MCO ₂ /(Y*(M _x)+Z*(MCO ₃ ²)))

X: metal alcalinotérreo ó metal alcalino.

Mx: peso molecular de X en (g/mol).

MCO₂: peso molecular del CO₂= 44g/mol.

M-: peso molecular del CO₃⁻²= 60g/mol.

Y: número estequiométrico de X= 1 (para metales) ó 2 (para metales alcalinos).

Z: número estequiométrico de CO₃⁻²= 1.